This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

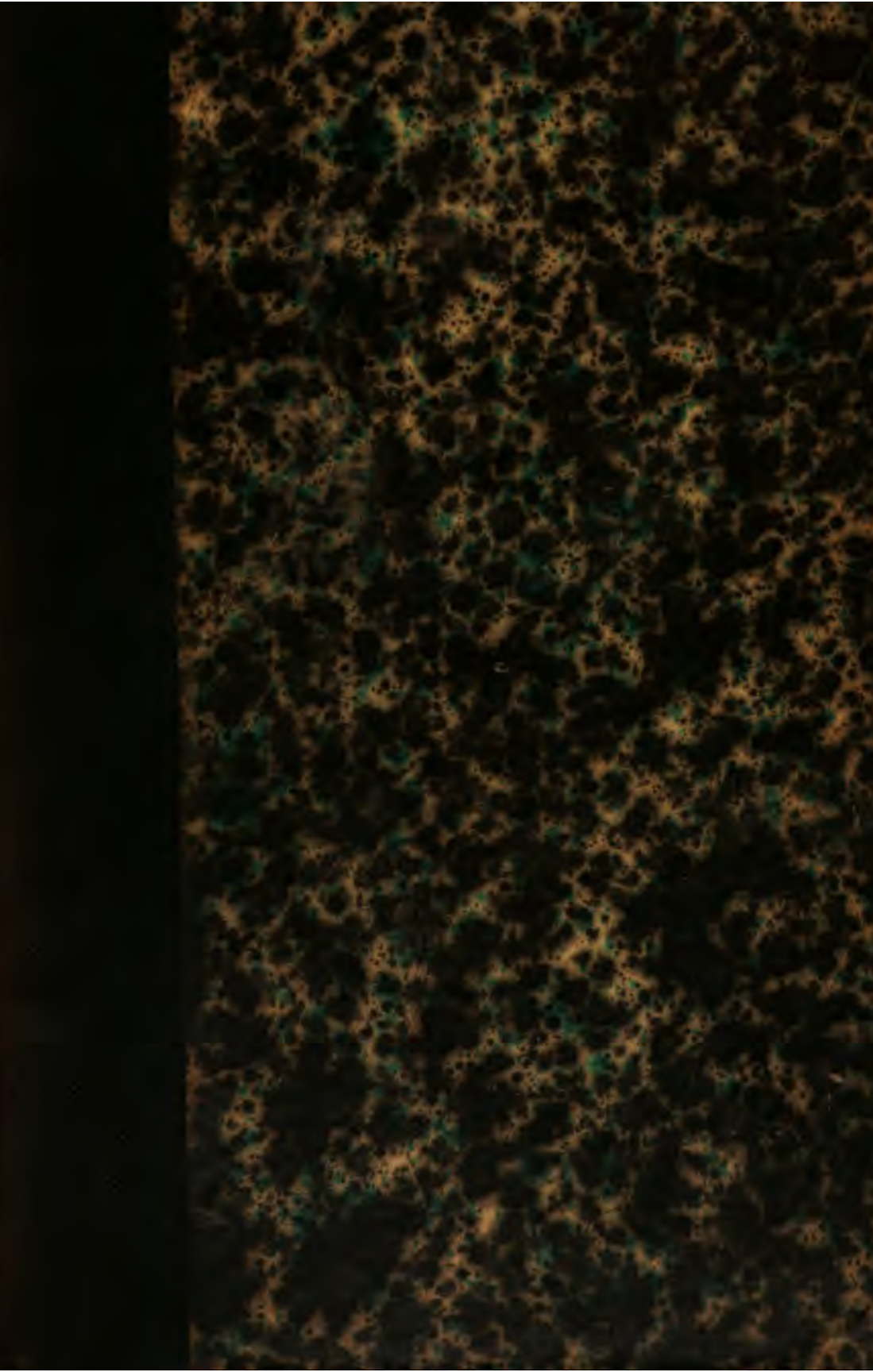
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING

TA
2
.S68

SOCIÉTÉ
INGÉNIEURS CIVILS

Nota. La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Mémoires ou Notes publiés dans le Bulletin.

2144.— Typ. de GUIRAUDET, place de la Mairie, 2, à Neuilly.

050

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET IMPÉRIAL

EN DATE DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1861

Paris

RUE BUFFAUT, 26

INGÉNIEURS CIVILS

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JANVIER, FÉVRIER, MARS 1861)

N° 13

Pendant ce trimestre on a traité les questions suivantes :

1° *Installation des nouveaux membres du bureau et du comité.* (Voir le résumé de la séance du 11 janvier 1861, p. 25.)

2° *Emploi de la main-d'œuvre dans l'industrie,* par M. Hamers. (Voir le résumé de la séance du 18 janvier, page 43.)

3° *Coulisse de Stephenson et la distribution à détente variable produite par un seul tiroir à recouvrement;* par M. Desmousseaux de Givré. (Voir le résumé de la séance du 18 janvier, page 47, et le Mémoire, page 94.)

4° *Pont suspendu du Niagara*, traduction du rapport de M. Rœbling, ingénieur, par M. Chobrzynski. (Voir le résumé de la séance du 18 janvier, page 47.)

5° *Théorie de l'engrenage hyperboloïde*, par M. J. B. Belan-

163342

ger, présentée par M. Faure. (Voir le résumé de la séance du 1er février, page 51.)

6° *Fabrication des rails en fer n° 1.* (Voir les résumés des séances du 18 janvier et 1er février, pages 47 et 52.)

7° *Fabrication du fer et de l'acier par le procédé Bessemer,* analyse faite par M. Chobrzynski. (Voir les résumés des séances des 1er février, 1er et 15 mars, pages 52, 71, 80.)

8° *Construction de blocs artificiels en béton d'asphalte pour les fondations maritimes,* par M. Léon Malo. (Voir le résumé de la séance du 1er février, page 57.)

9° Explications présentées par M. Yvert sur la *Carte géologique du territoire de Paris,* offerte à la Société par M. Delesse, ingénieur des mines. (Voir le résumé de la séance du 15 février, page 61.)

10° *Résistances comparées des piliers en fer et en acier, pour servir au calcul des tiges de pistons, bielles, etc.,* par M. Love. (Voir le résumé de la séance du 15 février, page 63.)

11° *Appareils propres à produire le froid,* par M. Rouart. (Voir le résumé de la séance du 1er mars, page 69).

12° Expériences faites au chemin de fer d'Orléans sur la *Machine locomotive à quatre essieux et à huit roues accouplées,* du système de M. Edmond Roy. (Voir le résumé de la séance du 15 mars, page 79.)

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° Le numéro de septembre et octobre des *Annales des Ponts-et-Chaussées;*

2° Les numéros des 3e et 4e livraisons de 1860 des *Annales des Mines;*

3° De M. Desnos, membre de la Société, les numéros de janvier, février et mars du journal l'*Invention;*

4° Le numéro de janvier 1861 des *Annales forestières et métallurgiques;*

5° Les numéros de novembre, décembre 1860 et janvier 1861 du *Bulletin de la Société d'Encouragement;*

6° Les numéros de septembre, octobre, novembre et décembre 1860 de la *Revue des Ingénieurs autrichiens;*

7° Les numéros de janvier, février et mars 1861 du journal le *Crédit minier;*

8° De M. Yvert, membre de la Société, de la part de M. Delesse, ingénieur des Mines, un exemplaire de la *Carte géologique de Paris;*

9° De M. Jullien, membre de la Société, un exemplaire de son *Traité théorique et pratique de la métallurgie du fer;* et un exemplaire de son *Traité théorique et pratique des machines à vapeur fixes, locomotives et maritimes;*

10° Les numéros de janvier et février du *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse;*

11° Les numéros de décembre 1860 et janvier 1861 des *Annales des conducteurs des Ponts-et-Chaussées;*

12° De M. César d'Aly, les numéros 7, 8, 9 et 10 de la *Revue d'Architecture;*

13° De M. Noblet, éditeur, un exemplaire de l'ouvrage de M. Amédée Burat, sur le *Matériel des houillères en France et en Belgique,* et un exemplaire des numéros de novembre et décembre 1860 de la *Revue universelle des Mines et de la Métallurgie;*

14° Les derniers numéros du Bulletin des séances de la *Société impériale et centrale d'Agriculture;*

15° Le numéro d'août du Bulletin de l'*Institution of Mechanical Engineers;*

16° De M. Brame, ingénieur des Ponts-et-Chaussées, un exemplaire de son *Rapport sur les expériences faites par la Compagnie du Nord pour l'amélioration des voies;*

17° De M. Love, membre de la Société, un Mémoire sur la *Résistance des piliers d'acier déduite de l'expérience, pour servir au calcul des dimensions des tiges de pistons, bielles, etc.*; du même, un exemplaire de son Mémoire sur *la loi de résistance des conduites intérieures à fumée dans les chaudières à vapeur*, et un exemplaire de son volume intitulé : *Essai sur l'identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière, l'électricité, etc.*;

18° De M. Beugniot, membre de la Société, un exemplaire de son Mémoire sur sa *locomotive de montagne;*

19° De M. Emile With, ingénieur, un exemplaire de l'*Album de M. Cabirol sur son appareil le plongeur le Scaphandre*;

20° De MM. Armengaud frères, membres de la Société, la collection de leur journal le *Génie industriel*, formant 20 volumes;

21° De M. Castor, membre de la Société, un exemplaire de son *Recueil d'appareils à vapeur employés aux travaux de navigation et de chemins de fer;*

22° De MM. Degousée et Ch. Laurent, membres de la Société, un exemplaire de leur *Guide du sondeur;*

23° De M. Alexis Barrault, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur *le foyer fumivore de M. Tembrinck;*

24° De M. Malo, membre de la Société, une note sur la *construction des blocs artificiels en béton d'asphalte pour les fondations maritimes;*

25° De M. Rouart, membre de la Société, une note sur *les appareils propres à produire du froid*;

26° De M. La Salle, membre de la Société, un Mémoire intitulé : *Etude sur le procédé Bessemer.*

27° Le numéro 56 des *Mémoires de la Société d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube;*

28° Le numéro du troisième trimestre du Bulletin de la *Société de l'Industrie minérale;*

29° Les numéros des mois de janvier, février et mars du journal *The Engineer;*

30° De M. Sambuc, membre de la Société, un exemplaire d'un Mémoire sur un *nouveau système de chariots roulants sans fosse;*

31° De M. Oppermann, les numéros de janvier, février et mars des *Nouvelles annales de la construction*, et du *Portefeuille économique des machines;*

32° De MM. Boiso et Thieffry, imprimeurs lithographes, la première livraison de l'*Album encyclopédique des chemins de fer;*

Les membres nouvellement élus sont les suivants :

Au mois de janvier :

MM. Champouillon, présenté par MM. Castel, Donnay et Saint-James.

Duval (Raoul), présenté par MM. Faure, Desmazures et Sautter.

Servier, présenté par MM. Arson, Ermel et Pottier.

Au mois de février :

MM. Berges, présenté par MM. Faure, Chabrier et Devers.

Mollard, présenté par MM. Deniel, Brüll et Etienne.

NORMAND, présenté par MM. Flachat (Eugène), Laurens et Faure.

VERRINE, présenté par MM. Flachat (Eugène), Guillaume et Tresca.

GUILLET, présenté par MM. Baret, Capdevielle et Ottavi.

GERONDEAU, présenté par MM. Faure, Tétard et Fromentin.

CARPENTIER, présenté par MM. Flachat (Eugène), Forquenot et Pepin-Lehalleur.

DE BRUNET, présenté par MM. Péreire (Eugène), Doublet et Dinan.

Au mois de mars :

MM. ARMAN, présenté par MM. Flachat (Eugène), Forquenot et Gouin.

DE BRUIGNAC, présenté par MM. Flachat (Eugène), Molinos et Pronnier.

CONSOLAT, présenté par MM. Flachat (Eugène), Petiet et Ad. Flachat.

GODFERNAUX, présenté par MM. Nozo, Thouin et Lavalley.

LETESIU, présenté par MM. Flachat (Eugène), Petiet et Alquié.

LITSCHFOUSSE, présenté par MM. Flachat (Eugène), Faure et Faliès.

PILLICHODY, présenté par MM. Faure, Guillaume et Richoux.

CALMETTE, présenté par MM. Flachat (Eugène), Noisette et Flachat (Adolphe).

STOEKEL, présenté par MM. Flachat (Eugène), Faure et Verrine.

LISTE GÉNÉRALE DES SOCIÉTAIRES, ANNÉE 1861

Membres du Bureau.

Président :

M. FLACHAT (E.) O. ❋ ✻, rue de Londres, 51.

Vice-Présidents :

MM. FORQUENOT, quai d'Orléans, 40.
PETIET (J.) O. ❋ ✻ ✻ ✻, rue Lafayette, 34.
BARRAULT (Alexis) ❋, rue Moncey, 9.
LAURENS ❋, rue Saint-Honoré, 368.

Secrétaires :

MM. GUILLAUME, rue de Lancry, 55.
PELIGOT (Henri), rue Bleue, 5.
TRONQUOY (Camille), rue du Faubourg-Saint-Denis, 43.
RICHOUX (Ch.), Chaussée des Martyrs, 30.

Trésorier :

M. LOUSTAU (G.) ❋, rue de Saint-Quentin, 23.

Membres du Comité.

MM. DEGOUSÉE ❋, rue Chabrol, 35.
FAURE (A) ❋, rue Paradis-Poissonnière, 19.
NOZO (Alfred) ❋ ✻, boulevard Magenta, 51.
SALVETAT ❋, à Sèvres (Manufacture Impériale).
YVON-VILLARCEAU ❋ ✻, à l'Observatoire.
LAURENT (Charles), rue Chabrol, 35.
MATHIAS (F.) ❋ ✻ ✻ ✻, rue de Saint-Quentin, 23.
CALLON (Ch.) ❋, rue Royale-Saint-Antoine, 16.
ARSON, rue de Bourgogne, 40.

Alcan (Michel) ✱, rue Laffitte, 45.
Vuigner (E.) O. ✱ C. ✱, faub. Saint-Denis, 146.
Chobrzynski ✱, boulevard Magenta 47.
Alquié, rue de Dunkerque, 63.
Love, rue de Turin, 4.
Molinos (Léon), rue Chaptal, 22.
Gouin (E.) ✱, rue de la Chaussée-d'Antin, 19 *bis*.
Deligny, rue Notre-Dame-de-Lorette, 10.
Yvert (Léon), rue d'Aumale, 26.
Breguet ✱, quai de l'Horloge, 39.
Thomas (Léonce) ✱, quai Voltaire, 25.

Président honoraire.

M. Perdonnet (A.) O ✱ G. ✱ C. ✱, à la gare du chemin de fer de l'Est.

Membres honoraires.

MM. Hodgkinson (Eaton), 44 Drayton grove, Brompton (Angleterre).
Morin (le général) G. ✱ ✱ ✱, rue Neuve-des-Mathurins, 38.
Poncelet (le général) G. ✱ ✱ ✱, rue de Vaugirard, 58.

Sociétaires.

MM. Aboilard, directeur de charbonnage, à Brassac (Puy-de-Dôme.
Achard, rue du Cherche-Midi, 99.
Albaret, ingénieur des chemins de fer de Lisbonne à Madrid (Espagne).
Alby, à Turin (Piémont).
Alcan ✱, rue Laffitte, 45.
Alléon, rue Saint-Lazare, 36.
Alquié, rue de Dunkerque, 63.

MM. Andry, à Boussu, près Mons (Belgique).
Appert, rue Royale, 6, à la Grande-Villette.
Arman (Lucien) ✱, constructeur, à Bordeaux (Gironde).
Armengaud aîné, rue Saint-Sébastien, 45.
Armengaud, jeune, boulevard de Strasbourg, 23.
Arson, rue de Bourgogne, 40
Artus, rue Notre-Dame-de-Nazareth, 39.
Balestrini, rue Notre-Dame-des-Champs, 82.
Barberot ✱ ✱, rue de la Santé, 75, à Batignolles.
Baret, rue Saint-Lazare, 14.
Barrault ✱ (Alexis), rue Moncey, 9.
Barrault (Emile), boulevard Saint-Martin, 33.
Barroux, à Bar-sur-Seine (Aube).
Barthélemy, quai Voltaire, 5.
Baudoin, rue des Récollets, 5.
Baumal, à Sottoville-lès-Rouen (Seine-Inférieure).
Beaucerf, à Chambéry (Basse-Savoie).
Beaussobre (de), à Strasbourg (Bas-Rhin).
Bélanger, à Fresnes sur Escaut (Nord).
Bellier, au chemin de fer du Midi, à Bordeaux (Gironde).
Benoit-Duportail, rue Trezel, 25, à Batignolles.
Benoist-D'azy (Paul), à Fourchambault (Nièvre).
Bergeron, rue de Babylone, 37.
Bergès, rue Saint-Germain-L'Auxerrois, 88.
Bertholomey, à la raffinerie de M. Tutein, à Copenhague (Danemark).
Berthot, rue des Bons-Enfants, 19.
Berton, ingénieur directeur de l'exploitation des chemins de fer de Florence aux Etats-Romains, Palazzo-Pucci, via de Pucci, à Florence.
Bertot, rue Notre-Dame-de-Nazareth, 10.
Beugniot, maison Kœchlin, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Bévan de Massi, à Madrid (Espagne).
Binder (Jules), rue d'Anjou-Saint-Honoré, 72.
Bippert, au chemin de fer de Lyon à la Méditerranée. Arles (Bouches-du-Rhône).

MM. Biver ✻, à Saint-Gobain, par Coucy-le-Château (Aisne).
Blard, aux ateliers du chemin de fer d'Orléans, à Ivry.
Blonay (de) directeur des ateliers de construction de la Reichshoffen, près Niederbronn (Bas-Rhin).
Blondeau, aux mines de Blanzy (Saône-et-Loire).
Blot (Léon), rue Lavoisier, 3.
Blutel, à Vesoul (Haute-Saône).
Bois (Victor), place du Havre, 14.
Boivin, rue de Flandre, 139, à la Villette.
Bonnet (Félix), rue de Sèvres, 8.
Bordet, à Remilly, par Sombernom (Côte-d'Or).
Borgella, rue Hauteville, 8.
Bossu, à la cristallerie de Saint-Louis, par Goetzembruck (Moselle).
Boudard aîné, à Dangu, par Gisors (Eure).
Boudard jeune, à Pont-Rémy (Somme).
Boudsot, à la Chaux-de-Fonds (Suisse).
Bougère, à Angers (Maine-et-Loire).
Bouilhet, rue de Bondy, 56.
Bouillon, rue de Chabrol, 33.
Bourcard, à Guebwiller (Haut-Rhin).
Bourdon ✻, route de Toulon, 158, Marseille (B.-du-Rhône).
Bourdon (Eugène) ✻, rue du Faubourg-du-Temple, 74.
Bourgougnon, cité Gaillard, 5.
Bournique, quai Jemmapes, 280.
Bourset, gare de Ségur, à Bordeaux (Gironde).
Bousson, rue de Greffulhe, 8.
Boutigny d'Evreux ✻, ingénieur chimiste, rue de Flandre, 52, à la Villette.
Boutin, place Saint-Vincent-de-Paul, 2, à Levallois (Clichy).
Boutmy, à Arles (Bouches-du-Rhône).
Branville (de), rue d'Enfer, 85.
Breguet ✻, quai de l'Horloge, 39.
Bricogne ✻, rue du Faubourg-Poissonnière, 50.
Bridel, à Bienne (Suisse).
Brocchi (Auguste), rue Racine, 30.

MM. Brocchi (Charles), rue de Clichy, 61.
Brozler, à Carlsruhl (Bade).
Bruère, à Belfort (Haut-Rhin).
Bruignac (de), rue Satory, 46, à Versailles (Seine-et-Oise).
Brunet (de), à Bayonne (Basses-Pyrénées).
Brüll, au chemin de fer de Séville à Cadix, à Séville (Espagne).
Buddicom, rue de Lille, 97.
Bureau, rue Joubert, 9.
Burel, rue d'Harcourt, 3, à Rouen, (Seine-Inférieure).
Burt, rue Caumartin, 54.
Busschopp, rue des Marais-Saint-Martin, 20.
Cahen, rue d'Abbeville, 3.
Caillé, rue du Cherche-Midi, 83.
Caillet, Avenue d'Antin, 37.
Caillot-Pinard, rue du Faubourg-Saint-Martin, 140.
Calla ✻, rue Lafayette, 11.
Callon ✻, rue Royale-Saint-Antoine, 16.
Calmette, rue de Vaugirard, 45.
Cambier, places d'armes, à Luxembourg (Grand-duché).
Capdeveille, chez MM. Maze et Voisine, à la Villette.
Capuccio, à Turin (Piémont).
Caron, rue Taitbout, 67.
Carpentier, rue de Fleurus, 57.
Castel (Emile) ✻, rue de la Charonnerie, 1, à Saint-Denis.
Castor ✻, à Mantes (Seine-et-Oise).
Cauvet, boulevard du Temple, 39.
Cavé ✻ (François), place Lafayette, 22.
Cavé (Amable), Avenue Montaigne, 51.
Cazalès de Fondouce, à Montpellier (Hérault).
Cazes, au Creuzot (Saône-et-Loire).
Cernuschi, Finalmarina (Piémont).
Chabrier, rue Saint-Lazare, 99.
Championnière, à Monlignon, par Montmorency (Seine-et-Oise)
Champouillon, à la gare du chemin de fer du Nord, (Paris).
Chancerel, à Stenay (Meuse).
Charaudeau, boulevard Poissonnière, 20.

MM. Charbonnier, rue de Lancry, 24.
Chapelle ✻, rue du Chemin-Vert, 5.
Chaper, rue Buffault, 11.
Charpentier, rue des Lions-Saint-Paul, 5.
Chauvel, à Navarre, par Evreux (Eure).
Chavès, inspecteur du service des eaux au chemin de fer du Nord, rue Paradis-Poissonnière, 12.
Chéronnet, à Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise).
Chevandier, rue de la Victoire, 22, hôtel de la Victoire.
Chobrzynski ✻, boulevard Magenta, 47.
Chollet, à Belfort (Haut-Rhin).
Chiandi, à Cambrai (Nord).
Clément-Desormes, rue Bourbon, à Lyon (Rhône).
Clervaux (de), directeur des usines de Torteron (Cher).
Coignet, quai Jemmapes, 228.
Coindet, rue de l'Hôtel-de-Ville, 3, au Havre (Seine-Inférieure).
Colladon, à Genève (Suisse).
Consolat, rue Caumartin, 58.
Coquerel, rue Moncey, 16.
Cordier, à Alexandrie (Egypte).
Cosyns, à Couillet par Charleroi (Belgique).
Cournerie, à Cherbourg (Manche).
Courras, avenue de Neuilly, 63, à Neuilly.
Courtépée, rue des Francs-Bourgeois, 5.
Courtines (Jacques) ✻, rue Saint-Georges, 9.
Crespin, à Meulan (Seine-et-Oise).
Crétin ✻, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 182.
Cuinat, à Varsovie (Russie).
Curtel, à Montluçon (Allier).
Daguin, (Ernest), rue Geoffroy-Marie, 5.
Dallo, au chemin de fer, à Audenarde (Belgique).
Darblay, à Corbeil (Seine-et-Oise).
Darru, à Suez (Egypte).
Debauge ✻, cité Gaillard, 1.
Debié, à la papeterie de la Croix-Blanche, à Thiers (Puy-de-Dôme).

MM. Debonnefoy, rue de Madame, 6.
Decaux, boulevard Saint-Jacques, 84.
De Coene, à Rouen (Seine-Inférieure).
Decomberousse, rue des Martyrs, 47.
De Dion ✻, rue Godot-Mauroy, 14.
Deffosse, au chemin de fer de Lyon à Genève, à Genève (Suisse).
Degousée ✻, rue Chabrol, 35.
Degousée (Edmond), rue Chabrol, 35.
Dejoly (Théodore), rue Martignac, 1.
Delanney, agent-voyer en chef, au Mans (Sarthe).
Delaporte, à l'usine de Montataire (Oise).
Delattre, boulevard Magenta, 45.
Delaville-Leroux, directeur des forges d'Imphy (Nièvre).
Delebecque, rue Chabrol, 54.
Demeule, à Elbeuf (Seine-Inférieure).
Deligny, rue Notre-Dame-de-Lorette, 10.
Delon, rue de La Tour-d'Auvergne, 2.
Delon, rue Castellane, 5.
Delpeche, rue Rambouillet, 2.
Deniel ✻, directeur du chemin de fer de Séville à Cadix, à Séville (Espagne).
Desbrière, rue des Martyrs, 47.
Desforges, au chemin de fer de Mulhouse (Haut-Rhin).
Desgranges, ingénieur en chef du chemin de fer du Sud, Wollzeil, 788, à Vienne (Autriche).
Desmasures O ✻, rue Taitbout, 67.
Desmousseaux de Givré, rue de Las-Cases, 10.
Desnos, boulevard Saint-Martin, 29.
Desnoyers, aux forges du Phénix, Ruhrort (Prusse).
Desprès, rue Basse-du-Rempart, 50.
Devaureix, rue de Jessaint, 8, à la Chapelle-Saint-Denis.
Devers, rue Neuve-des-Martyrs, 12.
D'Hamelincourt, rue Neuve-Coquenard, 11 *bis*.
Diard, rue Saint-Gilles, 11.
Dinan, au Blanc-Pignon, commune d'Auglet, près Biarritz (Basses-Pyrénées).

MM. Dombrowski, à Bar-le-Duc (Meuse).
Donnay, chef du bureau des études au chemin de fer du Nord, rue Godot-de-Mauroy, 21.
Doublet, place Vendôme, 25.
Dubied, place de la Bourse, 10.
Dubois, rue de Savy, 1, à Lyon (Rhône).
Dufournel, à Gray (Haute-Saône).
Dugourd, à Alais (Gard).
Duméry, boulevard de Strasbourg, 26.
Du-Pan (Louis), à Soissons (Aisne).
Durenne, rue des Amandiers-Popincourt, 11.
Durocher, rue de la Verrerie, 83.
Duval (Edmond), aux forges de Paimpont, près Plélan (Ille-et-Villaine).
Duval (Raoul), directeur des Houillères de Rulhe, à Cransac (Aveyron).
Ébray, à Sancerre (Cher).
Eiffel, à Cenon-la-Bastide, par Bordeaux (Gironde).
Engelmann, en Russie.
Ermel, rue Montholon, 28.
Estoublon, maître de forges, à Bourges (Cher).
Étienne, au chemin de fer de Séville à Cadix, à Séville (Espagne).
Évrard, rue Saint-Samson, 28, à Douai (Nord).
Faliès, Chaussée-du-Maine, 4.
Fallenstein, à Düren, près Aix-la-Chapelle (Prusse).
Farcot (J.-J.-Léon), au port Saint-Ouen (Banlieue).
Fauconnier, avenue Parmentier, 15.
Faure (Auguste) ✻, rue Paradis-Poissonnière, 19.
Fellot, rue de Turin, 4.
Ferot ✻, rue d'Amsterdam, 15.
Fèvre, rue et cité Turgot, 5 et 7.
Fèvre (Henri), rue de Penthièvre, 7.
Fièvet, à la Chapelle-au-Thiérache (Aisne).
Flachat (Eugène) O ✻ ✻, rue de Londres, 51.
Flachat (Adolphe), rue Caumartin, 70.

MM. Flachat (Jules), Calle San-Roque, 8, à Madrid (Espagne).
Flachat (Yvan), rue Lavoisier, 1.
Flaud, rue Jean-Goujon, 27.
Fontenay (de), rue du Cherche-Midi, 36.
Fontenay (Tony), rue des Récollets, 1, à Grenoble (Isère).
Fontenay (de) ✻, à Baccarat (Meurthe).
Forey, à Montluçon (Allier).
Forquenot, quai d'Orléans, 40.
Fortin-Herrmann, (Louis), boulevard Montparnasse, 71.
Fortin-Herrmann (Emile), boulevard Montparnasse, 71.
Fournier, rue de la Ville-l'Evêque, 40.
Fournier (A.), à Orléans (Loiret).
Fredet, à la papeterie, à Essonne (Seine-et-Oise).
Fresnaye, à Marcnlo, par Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).
Frichot, à Pont-Rémy (Somme).
Fromantin, rue Bonaparte, 24.
Fromont, au chemin de fer de l'Est, à Vesoul (Haute-Saône).
Froyer, à Rome (Italie).
Fuchet, rue de Varenne, 88.
Gallaud, rue Notre-Dame-de-Lorette, 46.
Ganneron, quai de Billy, 56.
Garnier (Paul) ✻, rue Taitbout, 16.
Gaudet ✻, à Rive-de-Gier (Loire).
Gaudry (Jules), ingénieur au chemin de fer de l'Est, rue Saint-Georges, 5.
Gaveau, chez M. Facundo Chalbaud, négociant à Bilbao, près Bayonne (Espagne).
Gayrard (Gustave), rue du Dragon, 21.
Gentilhomme ✻, quai de la Tournelle, 45.
Geoffroy, rue de la Nation, 14, à Montmartre.
Gerder, Cadet, 7.
Germain, rue Saint-Lazare, 62.
Germon, rue des Moulins, 15, à Belleville.
Gérondeau, à Alais (Gard).
Geyler, rue Bleue, 35.
Gibon, à Montataire (Oise).

MM. Giffard, Avenue Matignon, 3.
Gil (Claudio), à Barcelonne (Espagne).
Gingins (de) (Olivier), rue Miroménil, 5.
Girard, faubourg Poissonnière, 35.
Gislain, rue Lepelletier, 35.
Godfernaux, rue Percier, 6.
Goschler, rue de Tivoli, 3 *bis*.
Gottschalk, à Saint-Pétersbourg (Russie).
Gouin (Ernest) ✻, rue de la Chaussée-d'Antin, 19 *bis*.
Gounet, rue du Temple, 118.
Gouvy (Alexandre), aux forges de Hombourg, près Saint-Avold (Moselle).
Grenier (Achille) ✻, ingénieur en chef au chemin de fer Guillaume de Luxembourg (Grand-Duché).
Guérard, au chemin de fer du Nord, à Amiens (Somme).
Guérin de Litteau, rue d'Antin, 9.
Guérin, à Draguignan (Var).
Guettier, aux fonderies de Marquise (Pas-de-Calais).
Guibal (Théophile), à l'Ecole des Mines de Mons (Belgique).
Guibal (Jules), rue Pargaminières, 71, à Toulouse (Haute-Garonne).
Guillaume (Charles), au chemin de fer du Midi, à Toulouse (Haute-Garonne).
Guillaume, rue de Lancry, 55.
Guillemin, à la Péraudette, près Lausanne (Suisse).
Guillemin, usine de Cosamène, à Besançon (Doubs).
Guillet, directeur de l'École professionnelle du Centre, à Ménars (Loir-et-Cher).
Guillon ✻, à Amiens (Somme).
Guillot, ingénieur du matériel du chemin de fer Victor-Emmanuel, à Turin (Piémont).
Guntz, à Hagueneau (Bas-Rhin).
Hallopeau, rue du Palais-Gallien, 2, à Bordeaux
Hamers, avenue de La Bourdonnay, 59.
Hamoir, à Maubeuge (Nord).
Hermary, à Lambres par Aire-sur-la-Lys (Pas-de-Calais).

MM. Hervey-Picard, rue St-Louis, 54, aux Batignolles.
Hervier, rue du Château-d'Eau, 72.
Heurtebise, rue des Rosiers, 3.
Holcroft, à Tours (Indre-et-Loire).
Houel ✻, quai de Billy, 48.
Houlbrat, rue de la Rochefoucaud, 24.
Hovine, rue de Lyon, 7.
Hubert, rue Blanche, 69.
Hubert (William), rue Miroménil, 2.
Huet, rue Bleue, 35.
Humblot, rue des Clercs, à Metz (Moselle).
Imbs, à Brumath, près Strasbourg (Bas-Rhin).
Jarry, à Saint-Pares-lès-Vandes (Aube).
Jacquin, rue de l'Eglise, 20, à Batignolles.
Jeanneney, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Jequier, à Santiago (Chili).
Joly ✻, à Argenteuil (Seine-et-Oise).
Jolly (César), à Argenteuil (Seine-et-Oise).
Jouannin, rue de Clichy, 78.
Jousselin, rue de Bercy, 4.
Jullien, boulevard Beaumarchais, 76.
Karcher, à Sarrebruk (Prusse-Rhénane).
Knab, rue de Seine, 72.
Kreglinger, à Malines (Belgique).
Laborie (de) ✣ quai de Béthune, 18.
Labouverie, à Bouillon, province de Luxembourg
Lacombe ✻, rue de la Rochefoucaud, 46.
Lafon, à Cadix (Espagne).
Lainé, rue du faubourg du Temple, 59.
Laligant, à Maresquel, par Champagne-les-Hesdin (Pas-de-Calais).
Lalo, rue Saint-André-des-Arcs, 45.
Lambert, à Vuillafons, par Ornans (Doubs).
Langlois (Charles), rue Joubert, 10.
Larpent, rue de Lonchamps, 39.
Larochette (de) ✻, à Bastia (Corse).

MM. La Salle, à Kriens, près Lauzanne (Suisse).
Lasseron, à Alexandrie (Egypte).
Lasvigne, chez M. Dutreich, à Niederbronn (Bas-Rhin).
Laurens ✻, rue Saint-Honoré, 368.
Laurent (Victor), à Plancher-les-Mines, près et par Champagney (Haute-Saône).
Laurent (Lambert), rue du chemin de Pessac, 192, à Bordeaux (Gironde).
Laurent (Charles), rue Chabrol, 35.
Lavalley ✻, avenue de l'Impératrice, 47.
Lavezzari, à Ecurics, près Montreuil-sur-Mer (Pas de Calais).
Lebon (Eugène), boulevard de Strasbourg, 9.
Le Brun (Louis), rue de Belzunce, 10.
Le Brun (Raymond), rue de Savy, 1, à Lyon (Rhône).
Lecherf, rue de l'Empereur, 46, à Montmartre.
Le Cler (Achille), rue de l'Abbaye, 12.
Lecoeuvre, rue Saint-Louis, 85.
Leconte ✻, rue de Bercy, 4, à Paris.
Lecorbellier, rue de Londres, 49.
Lefèvre, rue de l'Ecluse, 17 (Batignolles).
Lefrançois, rue Rocroy, 23.
Legavriand, à Lille (Nord).
Le Laurin, rue de Rennes, 15.
Lemoinne ✻, rue Notre-Dame, 18, à Passy.
Lemonnier, aux forges de Terre-Noire (Loire).
Lemonon, à Arc-en-Barrois (Haute-Marne).
Lepeudry, rue Montholon, 28.
Le Roy, cour Léopold, 27, à Nancy (Meurthe).
Letestu, rue du Temple, 118.
Levat ✻, à Arles (Bouches-du-Rhône),
Limet, rue du Faubourg-Poissonnière, 32.
Litschfousse, rue du Bac, 88.
Loisel, rue Tronchet, 2.
Longraire, à Bologne (Italie).
Lopez-Bustamante, à Santander (Espagne).
Loustau (Gustave) ✻, rue de Saint-Quentin, 23.

MM. Love, rue de Turin, 4.
Lord, chez M. Gouin, à Batignolles.
Machecourt, à Montricq, par Commentry (Allier).
Maire, rue Blanche, 40.
Mallac, rue de La Bruyère, 21.
Maldant, quai des Chartrons, 25, à Bordeaux (Gironde).
Mallet, rue Fontaine-Saint-Georges, 7.
Malo, aux mines de Seyssel, à Pyrimont-Seyssel (Ain).
Manby (Charles), 25, Great George street Westminster.
Mangeon, à Melun (Seine-et-Marne).
Marché, à l'École professionnelle de Lausanne (Suisse).
Maréchal, ingénieur du matériel à Strasbourg (Bas-Rhin).
Marès (Henri), rue Sainte-Foy, à Montpellier (Hérault).
Marié ✻, rue de Bercy, 4.
Marindaz, rue Caumartin, 20.
Marion, rue Marcadet, 6, à La Chapelle.
Mariotte, rue de Rivoli, 8.
Marle, aux houillères d'Epinac (Saône-et-Loire).
Marsillon, chef d'arrondissement, à Belfort (Haut-Rhin).
Martenot ✻, à Ancy-le-Franc (Yonne).
Martin (François), rue d'Amsterdam, 51.
Martin (Léon), à Commentry (Allier).
Martin (Louis) ✻, rue de Strasbourg, 8.
Martin (Charles-William), quai d'Orsay, 17.
Massé, Place Royale, 60, à Reims (Marne).
Masselin, à la verrerie de M. Chance, à Birmingham.
Mastaing (de), boulevard Beaumarchais, 93.
Mathias (Félix) ✻ ✻ ✻ ✻, rue de Saint-Quentin, 23.
Mathias (Ferdinand) ✻, à Lille (Nord).
Mathieu (Henri), rue de Lille, 93.
Mathieu (Ferdinand) ✻, au Creuzot (Saône-et-Loire).
Maure, rue de la Chaussée-d'Antin, 6.
Mayer ✻, rue Pigale, 26.
Mazeline ✻, constructeur au Havre (Seine-Inférieure).
Mazilier, rue Mazagran, 4.
Mégret, boulevard de Strasbourg, 89.

MM. Mélin, rue Neuve-Coquenard, 11 *bis*.
Méraux, rue Chabrol, 36.
Mercier, rue Saint-Louis, 63.
Mesdach, rue Saint-Paul, 28.
Mesmer ❋, rue du Petit-Carreau, 24.
Michel, à Troyes (Aube).
Michelant, au chemin de fer d'Orléans (au dépôt, à Yvry).
Michelet, rue de la Chaussée-d'Antin, 27.
Mignon, rue Ménilmontant, 151.
Minary, usine de Casamène, à Besançon (Doubs).
Mirecki, en Russie.
Mitchell, boulevard de la Rapée, 4, à Bercy.
Moléon, rue de la Paix, 16.
Molinos, rue Chaptal, 22.
Mollard, rue Rossini, 4.
Monnot, à Pontru (Aisne).
Montcarville, au chemin de fer de Tours, à Tours.
Mony (Stéphane) ❋ boulevard des Italiens, 26.
Moreau (Albert), rue Neuve-de-l'Université, 9.
Morice, à Hazebruck (Nord).
Mouillard, à Séville (Espagne).
Muller (Adrien), rue d'Amsterdam, 18.
Muller (Alfred), rue Demours, 25, aux Ternes.
Muller (Emile), rue Chabrol, 55.
Nancy, ingénieur des Docks au Havre (Seine-Inférieure).
Nepveu, rue Taitbout, 81.
Nillis (Auguste), à Chaumont (Haute-Marne).
Noisette, rue des Poissonniers, 50, à la Chapelle.
Normand fils, constructeur, au Havre (Seine-Inférieure).
Nozo ❋ ✠, boulevard Magenta, 51.
Ottavi, avenue de Saint-Cloud, 51, à Passy.
Oudot, rue des Saints-Pères, 40.
Palotte fils, rue du Conservatoire, 11.
Paquin ✠, au chemin de fer de Saragosse à Alicante à Madrid (Espagne).
Paul, rue Amelot, 40.

MM. Pecquet, aux Etats-Unis.
Peligot (Henri), rue Bleue, 5.
Pellier, rue de Dunkerque, 19.
Pepin-Lehalleur ✱ ✣, au Château de Coutançon, par Montigny-Liancourt (Seine-et-Marne).
Perdonnet (Auguste) O ✱ G ✣ C ✱, administrateur au chemin de fer de Strasbourg.
Péreire (Eugène) O ✱ ✣, faubourg Saint-Honoré, 35.
Pérignon, faubourg Saint-Honoré, 105.
Périssé, Grande Rue, 62, aux Batignolles.
Perrot ✱, rue de Sèvres, 76, à Vaugirard.
Petiet (Jules) O ✱ ✱ ✣ ✱, rue Lafayette, 34.
Petin ✱, à Rive-de-Gier (Loire).
Petit de Coupray ✱ ✱, rue Lafayette, 50.
Petitgand, rue Bleue, 5.
Petitjean, rue de Bruxelles, 15.
Petre, place Vendôme, 16.
Picard, à Privas (Ardèche).
Pierron ✱, rue de l'Église, 13, aux Batignolles.
Pillichody, rue Lafayette, 32.
Pinat, aux forges d'Allevard (Isère).
Piquet, ingénieur en chef des mines à Gibraleon, province de Huelva (Espagne).
Planhol (de) ✱, à Sousvent, par Bex, Canton de Vaux (Suisse).
Plazolles, rue des Jeuneurs, 27.
Poinsot, rue Hauteville, 45.
Pollet, à Huelva (Andalousie).
Poiret, au Mans (Sarthe).
Poncet, entrepreneur à Massiac, par Brioude (Cantal).
Poncin, à Saint-Antoine (Tarn-et-Garonne)
Pot, rue Barthélemy, 21, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Pothier (Alfred-François), rue des Coutures-St-Gervais, 1.
Pothier (Ferdinand), passage des Eaux, 4, à Passy.
Pouchet, rue Dauphine, 20.
Pouell, chef de section au chemin de fer du Nord, à Douai.

MM. Poupé, à Amiens (Somme).
Priestley, rue Saint-Gilles, 17.
Princet, rue de Bondy, 90.
Paisse ✻, au chemin de fer d'Anvers, à Gand (Belgique).
Pronnier, rue Chaptal, 22.
Pury (de), à Neuchâtel (Suisse).
Raabe (Emile), directeur des verreries de la Loire et du Rhône, à Rive-de-Gier (Loire).
Rancès, rue Neuve, 30, à Bordeaux (Gironde).
Redon, allée des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne).
Regad (Léon), boulevard Longchamps, 109, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Regel (de) ✻, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Regnault, rue de Stockolm, 4.
Renard, rue de Grenelle-Saint-Germain, 59.
Renaud, à Deluz, canton de Roulans (Doubs).
Reymond, rue Sainte, 1, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Reynaud, à Cette (Hérault).
Reytier, rue du Cherche-Midi, 34.
Rhoné ✻, rue du Faubourg-St-Honoré, 35.
Ribail, rue du Chemin de Fer, 35, à Plaisance.
Richard, quai de Béthune, 24.
Riche, à Buxière-la-Grue (Allier).
Richomme, rue de Dunkerque, 15.
Richoux, Chaussée des Martyrs, 30
Roccaché, rue d'Erfurth, 3.
Rogé, à Pont-à-Mousson (Meurthe).
Romme, à Saint-Quentin (Aisne).
Rouart, rue Ménilmontant, 149.
Roussel (Simon), rue Saint-Louis, 67.
Roy (Edmond), quai Voltaire, 23.
Roze, rue des Filles-du-Calvaire, 23.
Ruolz (de) O ✻ ✻, rue du Cherche-Midi, 69.
Saint-James, rue de la Fontaine, 64, à Auteuil.
Salleron, à Sens (Yonne).
Salvétat ✻, à la manufacture Impériale de Sèvres.

MM. Samboc, Alservorstadt, 130, à Vienne (Autriche).
Sarazin, boulevard de Strasbourg, 89.
Saulnier, rue Saint-Sulpice, 24.
Sautter, avenue Montaigne, 37.
Scellier, directeur de la fabrique d'horlogerie de Badevel, près Audincourt (Doubs).
Schivre, au Grand-Hornue, près Mons (Belgique).
Schlincker, à Creutzwald (Moselle).
Schlumberger ❋, au château de Guebviller (Haut-Rhin).
Schmerber, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Schuwab, à Terre-Noire, près Saint-Etienne (Loire).
Séguin (Paul), rue de la Ville-Lévêque, 40.
Ser, impasse Mazagran, 2.
Servier, rue des Martyrs, 33.
Siéber, rue de l'Empereur, 33 (Montmartre).
Simons (Paul), à Mettlach (Prusse-Rhénane).
Stéger, aux ateliers du chemin de fer d'Orléans, à Ivry.
Stœkel, à Saint-Florentin-sur-Cher (Cher).
Sulzberger-Zeigler, à Winterthur (Suisse).
Tardieu, rue des Ursulines, à Valenciennes (Nord).
Tardieu (Georges), rue de Tournon, 13.
Tétard, rue Bonaparte, 47.
Thaurin, rue d'Amsterdam, 64.
Thauvin, rue Martel, 17.
Thétard, rue de Verneuil, 26.
Thevenet, rue de la Rochefoucaud, 25.
Thirion, boulevard Beaumarchais, 95.
Thomas (Léonce) ❋, quai Voltaire, 25.
Thomas (Frédéric), à Cramaux (Tarn).
Thomé de Gamond, rue Ste-Barbe, 1, à Argenteuil.
Thouin ❋ ✻, rue de Valenciennes, 1.
Thouvenot, à Bex, canton de Vaud (Suisse).
Tourneux (Félix), rue de Penthièvre, 15.
Tresca ❋ ✻ ✻ ✻, ingénieur, sous-directeur au Conservatoire des Arts-et-Métiers.
Trélat ❋, rue de la Tour-d'Auvergne, 37.

MM. Tronquoy (Camille), rue du faubourg St-Denis, 43.
Vaillant, rue d'Enghien, 49.
Valentin, rue Zérozo, 12, à Bruxelles (Belgique).
Valério, rue Saint-Lazare, 62.
Vallez, à Trith-Saint-Léger, près Valenciennes (Nord).
Vallier, rue St-Nicolas-d'Antin, 59.
Vandel, aux forges de la Ferrière-sous-Jougne (Doubs).
Vauthier, rue Chaptal, 22.
Vée, rue des Poissonniers à Saint-Denis.
Verrine, rue de Stockolm, 10.
Vidal, rue de Beaune, 1.
Vigneau, à Aiguillon (Lot-et-Garonne).
Vinchon, rue de Hanovre, 5.
Viron, au chemin de fer à Angoulême (Charente).
Voruz aîné, à Nantes (Loire-Inférieure).
Vuigner (Emile) O ✱ G ✱, rue du faubourg St-Denis, 146.
Vuillemin, à Epernay (Marne).
Wahl, rue de Bercy, 4, à Paris.
Wallaert, à Lille (Nord).
Weil (Frédéric), rue des Petites-Ecuries, 13.
West, rue Mazagran, 20.
Willien (Léon), rue du faubourg-de-Saverne, 53, à Strasbourg.
Windisch, à Saint-Pétersbourg (Russie).
Wissocq (Alfred), à Charleroi (Belgique)
Wohlguemuth, à Essonne (Seine et Oise).
Wolski, ingénieur des mines d'Auriol (Bouches-du-Rhône).
Yvert (Léon), rue d'Aumale, 26.
Yvon-Villarceau ✱ ✱, à l'Observatoire.

RÉSUMÉ DES PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT LE 1er TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1861

SÉANCE DU 11 JANVIER 1861

Présidence de M. VUIGNER.

L'ordre du jour appelle l'installation des membres du bureau et du comité pour l'année 1861.

M. E. VUIGNER, Président sortant, occupe le fauteuil et prononce l'allocution suivante :

« MESSIEURS,

« En prenant l'année dernière le fauteuil de la présidence, je vous ai indiqué que depuis quelques années déjà, nous avions adressé à l'administration supérieure une demande tendant à ce que la Société des Ingénieurs civils fût déclarée d'utilité publique, et qu'il était important d'arriver en 1860 à une solution quelconque.

J'ai ajouté que j'avais déjà fait en 1859, comme vice-président, des démarches dans les bureaux du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics pour qu'il fût donné suite à cette demande et que je comptais bien m'occuper incessamment de cette question, pour laisser à nos successeurs une Société fondée sur des bases solides et hors de toute atteinte.

Je vous ai dit enfin qu'on reconnaissait bien qu'il y avait dans les ingénieurs civils beaucoup de membres éminents, mais que l'administration supérieure se préoccupait de ce que nous avions fait comme corps, et qu'elle trouvait que nous n'avions pas un fonds social suffisant pour assurer notre existence sociale contre toutes les éventualités qui pouvaient se présenter.

Il fallait donc justifier ce que nous avions fait comme corps, et constituer un fonds social inaliénable, dont l'importance avait été indiquée de *cinquante mille francs*.

En ce qui concernait le fonds social, il fallait établir les bases de sa constitution.

Le bureau et le comité ont pensé que ce fonds social devait se composer :

Des droits d'admission ;

Des sommes versées pour l'exonération de la cotisation annuelle, exonération qui serait fixée à 400 fr., une fois payés ;

Des dons faits par les membres sociétaires, associés ou honoraires et de tous les autres apports qui pourraient être faits successivement à la Société.

Vous avez consacré ces bases dans l'assemblée générale extraordinaire du 20 avril dernier, en approuvant, en même temps, les modifications et additions à nos Statuts qui en étaient les conséquences.

Il n'était plus possible de faire des démarches utiles auprès de l'administration supérieure avant de fournir la preuve certaine de la formation d'un fonds social inaliénable de *cinquante mille francs* au minimum.

Je n'ai pas hésité, en m'appuyant sur les décisions de l'assemblée générale dernière, à solliciter des divers membres de la Société, soit des engagements pour l'exonération de la cotisation annuelle, soit des souscriptions de dons volontaires et, dans le courant du mois de juillet dernier, le montant des engagements et souscriptions s'élevait au chiffre demandé ; il a été dépassé depuis, et je ne doute pas qu'il ne s'accroisse maintenant dans une notable progression.

J'ai donc pu, dès-lors, me présenter de nouveau à l'administration supérieure tout fier des résultats obtenus.

Mais l'objection première, cette objection capitale : *Qu'avez-vous fait ? — Qu'êtes-vous devenus comme corps ?* s'est renouvelée avec plus de persistance et de force que jamais.

J'ai traité cette question dans maintes conférences avec tout le développement possible, et je ne crois pouvoir mieux faire que de vous donner connaissance de la note que j'ai remise à l'administration supérieure pour résumer les divers arguments tendant à prouver l'utilité publique de notre Société, bien que cette note ne soit que la répétition, avec plus de développement, de ce que je vous avais dit déjà l'année dernière en prenant la présidence.

« La Société des Ingénieurs civils avait pour but, aux termes de « ses Statuts :

« 1° D'éclairer par la discussion et le travail en commun les ques- « tions d'art relatives au génie civil ;

« 2° De concourir au développement des sciences appliquées aux grands « travaux d'industrie ;

« 3° De provoquer l'extension du système du concours scientifique pour « l'admission aux fonctions publiques, qui rentrent dans la profession d'in- « génieur, telles que celles d'agents-voyers, etc. ;

« 4° D'étendre, par le concours actif de ses membres, l'enseignemen « professionnel parmi les ouvriers et les chefs d'industrie ou d'atelier ;

« 5° De poursuivre, par l'étude des questions d'économie industrielle, « d'administration et d'utilité publique, l'application la plus étendue des « forces et des richesses du pays ;

« 6° D'entretenir des relations suivies et un esprit de confraternité « entre les membres de la Société ;

« 7° De rechercher et de faire connaître à ses membres les positions et « emplois vacants auxquels ils pourraient aspirer ;

« 8° Enfin d'assister temporairement, dans la limite de ses ressources, « ceux de ses membres qui seraient dans la nécessité de réclamer ce con- « cours.

« Cette indication du but que la Société s'est proposé d'atteindre en se « constituant est déjà une preuve assez positive de son utilité publique ; « mais voyons comment ce programme a été rempli.

« L'examen des bulletins trimestriels que la Société a publiés depuis sa « formation en mars 1848, dont la collection a été remise à l'administration « supérieure à l'appui de sa demande pour être reconnue d'utilité publique, « et dont le résumé est indiqué dans le tableau ci-annexé, fera reconnaître « qu'elle a satisfait largement à ses obligations pour éclairer, par la discus « sion et le travail en commun, les questions d'art relatives au génie civil, « pour concourir au développement des sciences appliquées aux grands tra- « vaux de l'industrie ; et pour poursuivre, par l'étude des questions d'éco- « nomie industrielle, d'administration et d'utilité publique, l'application la « plus étendue des forces et des richesses du pays.

« Ainsi, en ce qui concerne les chemins de fer, les discussions qui ont « eu lieu et les mémoires qui ont été produits relativement au tracé des « chemins de fer en France, en Allemagne, en Espagne et notamment pour « la traversée des Alpes, ont beaucoup élucidé toutes les questions relatives « aux conditions de tracé de ces nouvelles voies de communication.

« Toutes les questions relatives à l'établissement des voies de fer et ac- « cessoires, aux divers systèmes de rails, aux appareils de changemen « et de croisement de voies ; à la télégraphie, pour son application spé- « ciale à l'exploitation des chemins de fer, ont été traitées à diverses re- « prises et d'une manière approfondie dans un grand nombre de séances.

« Des discussions sur un programme déterminé et complet ont eu lieu « aussi sur tout ce qui concerne le matériel roulant des chemins de fer ; et le « résultat de ces discussions, comme les divers mémoires qui ont été rédi- « gés sur cette question importante par les divers ingénieurs civils com- « pétents, n'ont pas été étrangers aux améliorations qui ont été apportées « dans la construction des machines locomotives, des voitures et des « wagons.

« Le rapport qui a été fait sur les machines-outils, lors de l'Exposition « universelle, ne laisse rien à désirer relativement à ces machines et en « général à l'outillage des ateliers.

« Dans aucune autre Société, la question des ponts et viaducs avec « ferme et tablier métalliques n'a été traitée avec plus de développements « que dans les séances de la Société des Ingénieurs civils, et tous les hommes

« de science connaissent l'ouvrage intéressant qu'ont fait paraître deux de « ses membres sur les applications de ce système de ferme et de tablier dans « les travaux publics.

« La chûte du tablier du pont d'Angers a donné lieu à la discussion la « plus étendue sur les avantages et les inconvénients des ponts suspendus, « et le mémoire qui a été rédigé à ce sujet est le travail le plus complet « qui ait été fait jusqu'ici sur les ouvrages d'art de ce système, sur les « questions techniques et d'économie publique qui s'y rattachent.

« On trouve encore dans un grand nombre de mémoires des détails très- « importants et très-intéressants sur les questions relatives à la métallurgie, « en ce qui concerne les fabrications des rails et des coussinets, la produc- « tion des aciers ordinaires, puddlés et fondus, des zincs et des cui- » vres, etc.

« Les mémoires produits pour les distributions d'eau à Lyon, à Madrid, « à Constantinople, à Paris, etc.; les discussions qui ont eu lieu à ce sujet, « ont prouvé que les membres de la Société avaient une connaissance par- « faite de tous les détails de ces opérations importantes, sous toute espèce « de rapport, et il est bien de faire observer que ces discussions ont eu « pour effet, en général, de faire apporter des modifications importantes « dans les premiers projets présentés.

« Les communications qui ont été faites sur le drainage n'ont laissé in- « certaine aucune des questions pratiques qui se rattachent à cette opération « intéressant au plus haut degré et la propriété foncière et l'agriculture.

« L'art du fontainier et les perfections qui y ont été apportées depuis « quelques années ont été mis complétement à la portée de tous par les « communications incessantes et les mémoires qui ont été produits par les « membres de la Société qui s'occupent plus spécialement de sondages.

« La Société des Ingénieurs civils n'est pas restée étrangère aux diverses « questions qui se rattachent à l'industrie des matières textiles.

« Nous pouvions citer enfin beaucoup d'autres communications impor- « tantes et productions de mémoires sur diverses questions de technologie, « qui abondent dans les mémoires trimestriels de la Société des ingénieurs « civils.

« La Société des Ingénieurs civils n'a pas failli, non plus, à la mission « qu'elle s'était proposée de remplir pour provoquer l'obtention du con- « cours scientifique pour l'admission aux fonctions publiques qui rentrent « dans la profession d'ingénieur, et pour étendre par le concours actif de « ses membres l'enseignement professionnel parmi les ouvriers et les chefs « d'industrie ou d'atelier.

« Ainsi la science professionnelle n'a pas été portée plus haut jusqu'ici « qu'à l'Ecole Centrale, et les professeurs qui y ont été formés en grand « nombre, tous ingénieurs civils, ne le cédent pas à leurs doyens sous au- « cune espèce de rapport.

« Tout le monde connaît l'essor considérable que le Président honoraire « de la Société des Ingénieurs civils a su donner à l'enseignement profes- « sionnel des ouvriers dans l'association polytechnique; et l'affluence du

« public à ses conférences hebdomadaires en prouve assez et le mérite et « l'utilité pratique.

« D'un autre côté, tous les chefs d'industrie qui appartiennent à la So- « ciété des Ingénieurs civils ont rivalisé de zèle pour étendre dans leurs « établissements l'éducation morale et technique qui peut seule assurer « à la classe ouvrière l'avenir auquel elle doit aspirer.

« Polonceau, qui a été enlevé si subitement à la fleur de l'âge, est cer- « tainement l'ingénieur qui sous ce rapport a su donner la solution la plus « satisfaisante à ce problème si intéressant de l'économie politique, *em-* « *ployer les masses et les rendre heureuses de leur situation.*

« Les discussions qui ont eu lieu dans les séances de la Société des « Ingénieurs civils, les démarches de ses membres les plus influents n'ont « pas été étrangères, enfin, au développement du système de concours « admis aujourd'hui pour l'admission aux fonctions publiques qui rentrent « dans la profession d'ingénieur, telles que celles d'agent-voyer, etc.....

« Les articles qui prescrivent d'entretenir des relations suivies et un es- « prit de confraternité entre tous les membres de la Société, de recher- « cher et de faire connaître à ses membres les positions et emplois va- « cants auxquels ils pourraient aspirer, et enfin d'assister temporairement « dans les limites des ressources de la Société ceux de ses membres qui « seraient dans la nécessité de réclamer ce concours, n'ont pas été non « plus une lettre morte.

« Les Présidents et les membres du comité de la Société se sont tou- « jours occupés, et s'occupent incessamment, des démarches nécessaires « pour faire obtenir à ceux des membres de la Société inoccupés les posi- « tions ou emplois vacants, en France comme à l'étranger, qui peuvent « être à leur convenance et que leurs connaissances techniques et pra- « tiques les rendent aptes à occuper.

« Le Président et les membres du comité sont restés incessamment à la « disposition des membres de la Société pour leur donner les renseigne- « ments dont ils peuvent avoir besoin dans les postes qu'ils occupent et « les aider de leurs conseils.

« Les membres de la Société qui se sont trouvés dans la nécessité « de réclamer son concours ont toujours trouvé auprès d'elle l'as- « sistance temporaire qu'elle pouvait leur donner dans la limite de ses « ressources.

« Le but que la Société des Ingénieurs civils s'est proposé en se consti- « tuant, ce qu'elle a fait pendant les douze années de son existence « prouvent assez une vitalité qui constitue une Société durable et qui a « tous les caractères d'utilité publique que l'administration supérieure peut désirer dans une institution de cette nature.

« L'administration supérieure reconnaît bien que la Société des Ingé- « nieurs civils possède un grand nombre de membres éminents, qui ont « fait leurs preuves de talent et d'habileté, et qui ont rendu de véritables « services à la science comme à l'industrie sous toute espèce de rapports.

« Mais, quand ces membres sont aussi nombreux, leur mérite doit évi-

« demment être reporté à leur corps ; il doit suffire de les citer, pour justifier complétement cette assertion :

« Dans les sciences comme dans les travaux publics : les Seguin, Perdonnet, Mony, Flachat, Degousée, Petiet, Polonceau, Callon, Faure, Rhoné, Yvon-Villarceau, et *tutti quanti*, sont assez connus pour qu'il ne soit pas nécessaire de rappeler leurs mérites incontestables et incontestés.

« Il en est de même, dans l'industrie, pour les Benoit-d'Azy, de Blonay Chevandier, Clément-Desormes, Dufournel, Darblay, Estoublon, Gaudet, Hamoir, Martenot, Petin et Schlumberger.

« Dans les constructeurs de machines, la Société peut citer avec orgueil, » au nombre de ses membres, les Bréguet, Bourdon, Buddicom, Caillet, Calla, Castor, Cavé, Duméry, Farcot, Forquenot, Gouin, Houel, Mazeline, Messmer, Thomas et Laurens, Salvetat et Vuillemin.

« On ne tarirait pas enfin si l'on voulait citer les noms des ingénieurs civils français qui se sont distingués dans toutes les administrations publiques ou particulières, en France comme à l'étranger.

« Le Gouvernement a donné, du reste, la preuve la plus convaincante qu'il ne méconnaissait pas la Société des Ingénieurs civils, car à l'exposition universelle de 1855 l'administration supérieure a pris dans son sein dix membres du jury.

« Le résultat du concours général à l'exposition a été favorable aussi à la Société des Ingénieurs civils, puisque dix de ses membres ont été décorés et que soixante-cinq autres ont reçu des médailles.

« La Société des Ingénieurs civils peut justifier maintenant comme ressources financières d'un fonds social inaliénable de *cinquante mille francs*, qui ne peut que s'augmenter successivement à l'avenir et par les produits des droits d'admission et de l'exonération de cotisation annuelle, et par les dons volontaires, conformément à l'art. 25 de ses Statuts.

« Les produits de la cotisation annuelle ont déjà suffi, du reste, pour couvrir les dépenses que la Société a eu à faire annuellement, et l'augmentation considérable du nombre de ses membres prouve suffisamment qu'il en sera ainsi à l'avenir, comme on peut en juger par le relevé ci-annexé de ses recettes et de ses dépenses pendant les huit dernières années :

Années.	Sociétaires.	Recettes.	Dépenses.	Restant en caisse.
1852	275	11156 f. 80	10143 f. 90	1012 f. 90
1853	325	12209 85	9357 50	2852 35
1854	345	12348 05	8990 35	3357 70
1855	388	12822 40	9272 10	3550 30
1856	390	11867 75	8858 55	3009 20
1857	450	13962 70	11262 45	2700 25
1858	485	14651 55	12088 60	2562 95
1859	498	13284 55	11245 75	2038 80

« La Société des Ingénieurs civils n'est pas restée étrangère enfin aux « souscriptions qui ont pu être ouvertes en France, pour soulager des « infortunes ou venir en aide à ceux qui avaient combattu pour la patrie.

« La Société a versé pour les inondés en 1856, 2180 fr.; et 1180 fr. « pour les blessés de l'armée d'Italie.

« *Paris, le 25 Juillet* 1860.

« Le Président de la Société des Ingénieurs civils,

« Signé : E. VUIGNER. »

Immédiatement après la remise de cette note, la division du commerce a fait préparer les éléments nécessaires pour l'envoi du dossier au conseil d'État. M. Julien, le directeur, MM. Audiganne et Smith, chef et sous-chef au bureau de l'industrie, nous ont prêté un concours des plus utiles pour l'obtention de notre demande, et j'ai été heureux de leur en faire nos vifs remerciements.

Il y avait enfin une formalité indispensable, l'avis du Préfet de police sur l'opportunité et le bien-fondé de notre demande. Le rapport de M. le Préfet a été des plus favorables, et nous ne saurions trop savoir gré à ce magistrat de l'appui qu'il a bien voulu nous donner dans cette circonstance.

Ce n'est qu'à la fin du mois d'octobre cependant que le conseil d'État a été saisi de notre demande et de toutes les pièces du dossier, avec un avis fortement motivé de l'administration supérieure pour l'appuyer, et y donner la suite nécessaire.

Je suis fier de vous dire qu'au conseil d'État j'ai trouvé tant auprès du maître des requêtes rapporteur, etc., de MM. les conseillers de la section des travaux publics avec lesquels j'ai pu conférer, qu'auprès de son Excellence M. le président du conseil d'État lui-même beaucoup de sympathie pour notre Société.

M. le Président a eu la bonté de me dire qu'il avait trouvé, comme tous les membres du conseil d'État, qu'accueillir notre demande était une juste satisfaction à donner à la Société des Ingénieurs civils, et qu'il était heureux de pouvoir m'exprimer ces sentiments unanimes de considération pour le génie civil en France.

Aussi l'avis favorable de la section des travaux publics, et des quatre sections réunies ne s'est-il pas fait attendre longtemps, avec le projet de décret.

Le conseil d'État a demandé qu'il soit apporté dans nos Statuts quelques modifications de forme, auxquelles j'ai dû consentir pour éviter de nouveaux retards, et que vous aurez à sanctionner dans une assemblée générale extraordinaire qui devra être convoquée prochainement à cet effet.

Son Excellence M. le ministre de l'agriculture du commerce et des travaux publics a présenté à l'Empereur le décret avec nos Statuts ainsi modifiés et Sa Majesté a bien voulu y donner sa signature, le samedi 22 décembre dernier.

Je vous remets ci-joint ampliation de ce décret libellé comme suit :

NAPOLÉON, par la grâce de Dieu et la volonté nationale, EMPEREUR DES FRANÇAIS,

A tous présents et à venir, salut :

« Sur le rapport de notre ministre secrétaire d'État au département de l'agriculture, du commerce et des travaux publics;

« Vu l'état du fonds social s'élevant à la somme de 53,545 fr.;

« Notre Conseil d'État entendu;

« Avons *Décrété et Décrétons* ce qui suit :

« Art. 1er. L'association établie à Paris, sous la dénomination de *Société des Ingénieurs civils*, est déclarée établissement d'utilité publique.

« Sont approuvés les Statuts de ladite Société, tels qu'ils sont formulés « dans l'expédition jointe au présent décret.

« Art. 2. La Société sera tenue de transmettre, au commencement de « chaque année, au ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux « publics, un extrait de son état de situation, arrêté au trente-un décembre « précédent.

« Art. 3. Notre ministre secrétaire d'État au département de l'agricul«ture, du commerce et des travaux publics est chargé de l'exécution du pré«sent décret, qui sera inséré au *Bulletin des Lois* et publié au *Moniteur*.»

Fait au palais des Tuileries, le 22 décembre 1860,

Signé : NAPOLÉON.

Par l'Empereur,

Le Ministre secrétaire d'Etat au département de l'agriculture, du commerce et des travaux publics,

Signé : E. ROUHER.

Grâces soient rendues à Sa Majesté l'Empereur NAPOLÉON III!

Témoignage de reconnaissance soient donnés à Son Excellence le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, M. Rouher, dont la bienveillance habituelle ne nous a pas fait défaut!

La Société des Ingénieurs civis est bien et dûment reconnue Établissement d'utilité publique.

Je n'entrerai pas maintenant dans de longs détails sur les travaux de la Société pendant l'année 1860.

Je me bornerai à vous dire que nous avons eu des communications très-intéressantes :

Sur les essais de béton aggloméré;

Sur l'emploi de la machine de Clarke, pour la production de courants électro-magnétiques;

Sur l'injecteur Giffard;

Sur les résultats d'expériences pour l'emploi des cokes de gaz, dans les hauts-fourneaux;

Sur l'identité des agents qui produisent la chaleur, la lumière, etc.;

Sur une méthode graphique de réglementation de la coulisse Stephenson;

Sur diverses dispositions proposées pour les fondations tubulaires;

Sur les dispositions générales du paquebot l'*Adriatic;*

Sur un nouveau mode d'accouplement des essieux de locomotive non parallèles;

Sur un appareil de séchage de la vapeur, appliqué aux locomotives;

Sur les observations de l'éclipse du soleil en Espagne, du 18 juillet 1860;

Sur de nouvelles tables d'intérêts, annuités de rentes viagères;

Sur une nouvelle méthode d'extraction du zinc;

Sur les lois expérimentales du tassement des remblais;

Sur de nouvelles méthodes pour le moulage des coussinets et la fabrication des tirefonds à chaud;

Et enfin sur un procédé de préservation des matériaux de construction, tels que pierres, etc., etc.

D'un autre côté, nos bulletins trimestriels ont été tenus au courant par les soins de vos secrétaires.

Aujourd'hui, Messieurs, *noblesse oblige*, et il faut, comme je vous l'indiquais déjà l'année dernière, que nous prouvions que la Société des Ingénieurs civils est digne de sa déclaration d'utilité publique, que le programme qui fait la base de sa constitution n'est pas pour elle une lettre morte, et qu'elle en accepte les conséquences, sous toute espèce de rapport.

Je vous le répète encore, et je ne saurais trop le répéter : Ne nous isolons pas dans nos spécialités et nos fonctions, travaillons pour notre Société, ayons les uns dans les autres une mutuelle confiance, et prenons cet esprit de corps nécessaire pour avoir une forte constitution.

Pour atteindre ce but, il sera indispensable d'apporter encore quelques modifications à vos Statuts et à vos réglements.

Je ne puis avoir la prétention d'indiquer aujourd'hui ces modifications, mais j'appellerai l'attention du bureau et du comité sur la nécessité de faire coopérer, plus qu'on ne l'a fait jusqu'ici, les ingénieurs habitant la province, aux travaux de la Société, en augmentant le nombre des membre, du comité, et prenant alors un tiers des membres environ dans les sommités de nos collègues de la province.

Je pense qu'il faudrait aussi que le comité pût se renouveler partiellement, en déterminant le nombre de ces membres qui sortiraient chaque année, sans pouvoir être réélus pendant quelques années.

Je dois m'arrêter dans ces indications parce qu'il faut que ces questions soient mûrement pesées et discutées.

On pourrait étudier les modifications nécessaires pour compléter notre constitution, mais ce ne serait que vers la fin de l'année courante qu'il y aurait lieu d'en saisir l'administration supérieure, d'après les indications qui m'ont été données déjà à cet égard; et, en concertant ces modifications

avec elle, leur approbation ne serait plus qu'une question de forme.

Le conseil d'Etat ne s'est pas occupé du réglement; son examen a été laissé au soin de la division du commerce, et votre bureau recevra, sous peu de jours, les observations auxquelles cet examen peut avoir donné lieu.

Parmi les candidats à la présidence, qui avaient chacun leur mérite personnel, vous avez élu mon camarade et ami, M. Flachat. Vous avez satisfait ainsi au désir que vous aviez d'être présidés, dans les circonstances actuelles, par un des doyens de notre Société, par un des fondateurs du génie civil en France.

Ses connaissances variées, et je pourrais même dire ses connaissances générales dans les sciences théoriques et pratiques inhérentes à l'art de l'ingénieur, sa grande habitude des affaires, son jugement certain sur les hommes, vous sont garants qu'il conduira à bien la reconstitution de notre Société, et qu'il remplira cette mission avec ce dévouement qu'il sait apporter dans les affaires qui lui sont confiées.

Venez donc, mon cher camarade, me remplacer à ce fauteuil, et croyez bien que c'est de tout cœur que, devant cette réunion nombreuse de nos collégues, je vous donne l'accolade de l'amitié et de la confraternité. »

M. Vuigner cède le fauteuil à M. Flachat.

« Messieurs,

« L'exposé que vous venez d'entendre n'est incomplet qu'en ce qui concerne les soins et les démarches de notre Président pour obtenir cette déclaration d'utilité publique qui donne à notre Société un élément inappréciable de force et d'avenir.

Après avoir résumé avec autant de force que de chaleur d'expression, comme vous venez d'en juger, les services rendus par notre Société, notre Président a su réveiller par ses actives instances les sympathies et entraîner la conviction des hommes appelés à donner leur avis sur la sanction que nous demandions au Gouvernement.

Je crois donc, Messieurs, interpréter fidèlement votre pensée en adressant à M. Vuigner, notre Président sortant, nos remercîments unanimes et l'expression de notre vive gratitude pour avoir mené à heureuse fin cette importante affaire. Ce succès lui donne, parmi les fondateurs de cette Société, un rang égal à celui qu'il a gagné par sa belle et laborieuse carrière dans la profession des ingénieurs civils, dont il est l'un des chefs les plus utiles et les plus aimés.

La séance d'installation du Président pour l'année courante est habituellement consacrée à entendre le compte-rendu, que vous fait le Président sortant, des travaux de notre Société pendant l'année qui vient de s'écouler. Le Président qui lui succède vous entretient de la situation présente, de la direction à donner aux travaux qui peuvent occuper vos séances et attirer sur votre bulletin l'attention et l'intérêt qu'une Société telle que la nôtre doit assurer à toute publication qui émane d'elle.

La situation générale de l'industrie et des affaires, la part que notre profession est appelée à y prendre, doivent être envisagées aujourd'hui avec d'autant plus d'attention qu'il semble que tout se prépare pour placer le pays dans les conditions d'un développement d'activité plus considérable qu'à aucune période de notre histoire industrielle.

Les entreprises dans lesquelles le pays est engagé et celles qui naissent spontanément de l'initiative privée ont été naguère sérieusement ébranlées, les unes par le développement excessif qu'elles avaient reçu, les autres par les incertitudes que les crises commerciales et politiques et l'ignorance des résultats de la réforme économique accomplie par le gouvernement ont successivement fait naître.

Voyons, en ce qui concerne les entreprises d'utilité publique dans lesquelles le pays est engagé, quels sont les résultats de l'expérience que l'année courante a produits.

Vous le savez, Messieurs, sous l'influence des intérêts qui font désirer le développement le plus rapide des voies ferrées, la grande industrie des chemins de fer a été appelée à répondre aux nécessités que l'impatience du pays imposait à l'administration publique. Entre l'intérêt immédiat, qui est la base des spéculations heureuses, et l'intérêt d'avenir, qui n'apporte pas de profits immédiats au capital qui lui est consacré, c'est le dernier, celui dont l'Etat seul peut être l'expression, dont l'influence s'est traduite sur la plus grande échelle dans la constitution générale des compagnies fusionnées.

Pour atténuer les conséquences de la disproportion à redouter entre le capital immobilisé en construction et le revenu à en attendre, le Gouvernement a été amené à un système de pondération des chances de perte ou de bénéfice. Les titres de propriété des chemins de fer ont dû prendre, en conséquence, dans les valeurs publiques un rang intermédiaire entre les fonds de la dette et les titres des entreprises industrielles. Dans cette situation, leur garantie principale réside dans l'intérêt de l'Etat à ne pas ébranler de nouveau une propriété dont le régime économique dépend presque exclusivement de lui.

Mais la situation ainsi faite n'avait pas à ménager seulement le présent, elle devait assurer l'avenir, et l'avenir ne pouvait être que partiellement entrevu. Le Gouvernement avait dû espérer, sans doute, qu'après avoir donné aux populations les preuves de son intention formelle de mettre la France, par le nombre et l'importance de ses voies ferrées, dans des conditions de force productive satisfaisantes, il pourrait s'arrêter dans la voie des concessions nouvelles jusqu'au moment où les résultats de l'organisation économique donnée à cette grande entreprise seraient clairement indiqués par l'expérience

Cette période de suspension finissait avec le délai d'achèvement du deuxième réseau, c'est-à-dire l'année 1864, année qui fera connaître si le revenu du capital du nouveau réseau doit être supporté ou plutôt complété par l'ancien réseau, sans abaissement notable des valeurs représentatives de celui-ci. Mais l'impatience du pays n'a pas permis d'attendre. Les instances des grandes villes, celles des villes de moyen ordre, celles des

départements, émises par l'organe des Conseils généraux, ont pris une importance telle, que le Gouvernement a compris de suite l'impossibilité de s'arrêter. — Le mot de *troisième réseau* a été prononcé, et dans les discussions des grands corps de l'Etat, la création de ce troisième réseau a été présentée comme une nécessité économique aussi immédiate, aussi instante que s'il n'en existait pas déjà deux autres desservant le territoire d'une manière plus complète qu'on n'avait jamais osé l'espérer.

Bien des théories ont été développées sur l'organisation financière qui pourrait faciliter la création de ce troisième réseau. Quelle qu'elle puisse être, ses dispositions principales sont faciles à prévoir. L'intervention du Gouvernement y sera nécessaire en proportion de l'insuffisance du revenu immédiat. Il y entrera donc effectivement pour la part que représente son concours, celle de l'intérêt public et, en outre, comme administrateur des subventions locales.

De cette influence, due à l'importance de sa participation, découlera plus que jamais, pour le Gouvernement, le droit d'imposer sa direction quant aux conditions techniques de construction et d'exploitation. On en peut conclure que le troisième réseau sera exécuté dans des dispositions identiques à celles qu'il a exigées pour l'exécution des réseaux précédents.

L'industrie privée ne peut avoir la prétention de construire ces chemins de fer, comme elle l'entendrait, avec l'argent du Gouvernement, c'est-à-dire avec le produit de l'impôt et les subventions locales. Elle ne pourrait réclamer la liberté d'exécution et d'exploitation dans de pareilles conditions. D'un autre côté, si l'exécution du troisième réseau était laissée aux seules ressources de l'industrie privée, il est probable que, par suite de l'absence d'un trafic suffisant, et malgré les importantes économies qu'avec plus de liberté elle réaliserait sur la dépense de construction, son initiative se ferait attendre pour ce réseau plus longtemps encore qu'elle ne s'est fait attendre pour le second.

L'intérêt et la responsabilité des progrès, qui auront pour but d'établir des proportions plus satisfaisantes que par le passé, entre le capital de construction et le revenu d'exploitation, portent donc en entier sur l'instrument qui va servir à la construction du troisième réseau, c'est-à-dire sur le Gouvernement. Son attention a dû être éveillée sur cette grave situation par les résultats de l'année qui vient de finir.

Trois faits dominent dans ces résultats : le premier est l'extrême variation du produit brut, qui descend, en certains cas, jusqu'à ne pas couvrir les frais directs d'exploitation; le second est, au contraire, l'importance des dépenses qu'impose le régime le plus limité d'exploitation; le troisième est l'abaissement de la moyenne du revenu bien au-delà des prévisions.

La difficulté a changé de place. Elle était autrefois dans l'appel aux capitaux d'exécution : c'était la période des crises, mais on arrivait à l'exploitation comme à un refuge assuré. Aujourd'hui le capital de construction est dispensé aux compagnies sans secousses financières. Mais c'est l'exploitation qui est l'écueil. Les revenus sont si faibles, qu'il est probable que, sans l'impulsion de l'État, l'industrie livrée à elle-même ne se serait point chargée

d'une notable portion du deuxième réseau, quand même les dépenses d'exécution eussent dû être moitié moindres.

Aussi l'on peut dire qu'au point de vue économique et financier, les chemins de fer ne sont désormais plus, en France, une industrie, ils sont une institution.

Mais ce n'est pas tout que de démêler la difficulté. Qu'elle incombe au Gouvernement, ou par lui aux grandes associations qu'il a organisées, il faut également la résoudre par *l'action*, puisque le pays le demande, et non par l'arrêt.

Cette solution est tout entière dans la valeur technique des agents par lesquels les chemins de fer seront construits, et c'est ici que devient plus intéressante encore l'étude de l'influence que notre profession peut exercer sur l'une des plus vitales conditions de la prospérité du pays.

L'histoire de la construction du deuxième réseau constatera que les formalités d'expropriation des terrains ne permettent pas d'en disposer complétement avant un délai moyen de dix-huit mois, à partir de l'étude du tracé; que le jury a été l'instrument d'une spéculation tellement avide que les estimations les plus larges ont été dépassées du double au triple;

Que les exigences des communes, pour leurs passages et chemins, sont telles que cela constitue une nouvelle et importante cause de dépenses et de difficultés;

Que la construction des stations, avec leurs vastes emplacements, leur mise en relation avec les chemins du voisinage, leurs voies, leurs garages, les établissements de voyageurs, de marchandises et l'ensemble des constructions de toute nature qui y sont groupées pour les exigences des divers services, en fait un des chapitres les plus importants de la dépense d'exécution des chemins; que cependant ces vastes établissements ne contribuent pas suffisamment, surtout au point de vue agricole, à desservir le territoire traversé par les lignes, puisque le trafic local à courte distance et le service des foires et marchés restent entièrement encore, voyageurs et marchandises, étrangers aux chemins de fer;

Que, dans l'expression des inclinaisons à donner aux talus des tranchées et remblais, les cahiers des charges ne laissent pas à l'ingénieur une liberté suffisante de la régler suivant la nature des terrains;

Que l'étude du tracé faite avec trop de rigidité, quant aux inclinaisons du profil, isole trop le niveau du chemin de fer de celui des terrains environnants, divise le sol par des remblais ou déblais trop élevés, surélève les passages à niveau, jette la perturbation dans les écoulements d'eau naturelle et nécessite des travaux considérables pour rétablir sous ce rapport le régime de la propriété traversée.

Que les Services des routes et rivières saisissent avec trop d'avidité l'occasion du passage d'un chemin de fer pour obtenir des compagnies de chemin de fer des améliorations que jusqu'ici l'administration publique a dû refuser parce qu'elles n'étaient pas indispensables;

Qu'il en est de même des exigences des communes, pour le passage

dans les villes, malgré la plus-value qu'apporte le chemin de fer aux quartiers qu'il traverse.

Que le champ des imprévisions s'accroît, pour ces diverses causes, au-delà de toute limite et que, malgré les progrès accomplis par les ingénieurs, progrès qui se révèlent par plus de simplicité et un meilleur choix des moyens dans les travaux, les dépenses, loin de diminuer en raison de la faible importance du trafic à espérer, semblent s'accroître.

La solution de ces difficultés n'est pas de notre ressort; elle incombe aujourd'hui à l'Etat seul et à ses agents directs, mais il n'en est pas de même en ce qui concerne l'établissement de la voie et l'exploitation.

Dans l'ordre des progrès qui s'accomplissent chaque jour, la part que revendiqueront avec le plus de justice les ingénieurs civils est celle des moyens d'exploitation. Depuis la fabrication des rails, jusqu'à celle des locomotives, le champ est vaste et il a été heureusement cultivé. Dans les situations où vous êtes placés, le travail est incessant, pénible, souvent précaire, et sa rémunération ne suffit pas toujours à encourager vos débuts. Mais si j'envisage le résultat, le succès appartient à la persévérance et au dévouement.

J'ai dit que le champ était vaste; j'ajoute qu'il s'accroît tous les jours; que tous les jours votre force s'y développe et qu'il n'y a nulle raison pour qu'elle s'affaiblisse. Il est clair d'ailleurs que telle n'est pas l'intention du Gouvernement, et si nous étudions ses actes, peut-être nous conduisent-ils à lui attribuer une intention tout opposée.

Si, en effet, pour le choix du personnel de la construction, nous le voyons suivre la direction que les règles administratives lui prescrivent, nous le voyons, aussitôt qu'il s'agit de l'emploi de ce personnel par l'industrie, lui imposer des limites étroites et des restrictions sérieuses. C'est ainsi qu'il exige de ses ingénieurs un stage de cinq années dans le service public, au début de leur carrière, et qu'il leur retire au bout de cinq années passées au service des compagnies, le bénéfice du temps qui s'écoule au-delà de ce terme, pour l'avancement et la retraite. Il leur refuse aussi de s'attacher à des entrepreneurs ou à des compagnies d'entreprise.

Les conséquences de ces mesures, dont le but est évidemment d'empêcher l'appauvrissement du corps d'ingénieurs dont l'Etat dispose, sont que pour toutes les situations dans les chemins de fer, qui, en outre de l'instruction première de l'ingénieur, exigent l'épreuve et la sanction du temps, votre carrière est assurée.

Pour juger des ressources qu'elle présente encore, il suffit de compter le nombre considérable des hommes qui occupent aujourd'hui des positions importantes dans les services du Mouvement et du Trafic, et auxquels manquent, à leur grand regret et au détriment des affaires, les connaissances de l'ingénieur. Peu d'entre nous occupent ces positions; nous les avons négligées d'abord, ou nous avons reculé devant ce sentiment qui règne encore dans le public, que l'instruction des ingénieurs leur donne des notions trop absolues pour qu'ils se prêtent, avec une élasticité suffisante, à la pratique

des affaires commerciales. Ce préjugé s'éteint assez vite pour que nous ne le considérions plus comme un obstacle.

Je crois devoir conclure des faits qui se sont réalisés récemment, en ce qui concerne la participation des ingénieurs civils dans l'industrie des chemins de fer, que si elle s'est amoindrie dans la Construction, par suite de l'achèvement d'une partie des lignes et par la difficulté de les introduire dans le cadre des Ponts-et-Chaussées pour les travaux confiés à ceux-ci, autant elle s'est consolidée, par le nombre et l'importance des fonctions en ce qui concerne l'exploitation. Il y a lieu d'espérer qu'à ce point de vue la valeur technique des services rendus pourra se traduire par d'importantes économies dans l'établissement des chemins de fer, et surtout dans ceux de ces chemins où le matériel doit être adapté aux difficultés que présenteraient le sol et la nature du trafic.

C'est en effet par l'accroissement des résultats utiles obtenus de l'emploi des machines-locomotives que se simplifient et se réduisent les dépenses d'établissement. Quels progrès n'a pas faits sous ce rapport la grave question des inclinaisons? Et de combien de difficultés l'art ne s'est-il pas dégagé à cet égard?

C'est dans ces idées que je vous engage à échanger entre vous, ou à apporter ici, la connaissance des résultats des études journalières qu'exigent vos travaux.

Pour assurer le progrès, la meilleure condition est, dans notre carrière comme dans toutes les autres, de partir du point de départ le plus avancé, on recueille ainsi le bénéfice du travail accompli, et le premier dans l'arène est toujours celui qui a le plus apporté en résultats propres à éclairer la marche de ceux qui le suivent.

En fait de sciences industrielles comme de sciences pures, on est riche de tout ce que l'on donne, on s'appauvrit de tout ce que l'on garde pour soi.

L'année 1860 a vu s'agrandir également la participation de la France et de ses ingénieurs dans l'établissement et l'exploitation des chemins de fer étrangers.

En Russie, en Espagne et en Italie, l'organisation constituée par le personnel français s'est adaptée avec autant d'ordre que d'activité aux populations et aux intérêts locaux. Si l'on refuse aux Français l'esprit colonisateur, il faut avouer qu'en cette circonstance la facilité avec laquelle nos ingénieurs se sont indentifiés avec les hommes et les ressources du milieu dans lequel ils ont été placés a donné un sérieux démenti aux dispositions qu'on nous prête de ne savoir transformer aucune de nos habitudes, ou de ne pas savoir les faire accepter. Espérons donc que longtemps encore nos ingénieurs auront à rendre d'utiles services dans les pays où ils ont été introduits par les Compagnies Françaises.

La Société des Ingénieurs civils est aujourd'hui composée de 519 membres, parmi lesquels 144 sont employés dans les chemins de fer français, et 56 dans les chemins de fer étrangers; dans les mines et la métallurgie,

92; dans les arts mécaniques, 82; dans les travaux publics divers, 25; dans la chimie appliquée aux arts, 35; dans l'agriculture, 7.

En 1858, notre Société se composait de 450 membres, dont 165 employés dans les chemins de fer français et étrangers; 80 dans les mines et la métallurgie; 65 dans les arts mécaniques; 57 dans les travaux publics; 45 dans les industries diverses; 26 dans les arts chimiques, 12 dans l'agriculture.

C'est donc sur les chemins de fer principalement qu'il y a eu augmentation.

L'année 1860 a vu commencer avec un succès éclatant l'entreprise des services transatlantiques entre la France et le Brésil, confiée à la Cie des Services Maritimes des Messageries générales. La construction des bateaux et de leurs machines, entreprise par la Cie elle-même, dans les ateliers qu'elle a fondés, a doté la France de nouveaux établissements de construction dans lesquels le fini du travail défie toute rivalité. La construction des coques a été facilitée par les progrès que nos tôleries ont accomplis depuis plusieurs années à l'occasion des ponts métalliques. Les conditions de vitesse et de port imposées par le cahier des charges ont été dépassées. En face de ce premier succès, c'est avec confiance que l'industrie française peut entreprendre l'établissement des services transatlantiques des Antilles et des Etats-Unis, qui vient d'être confié à la Cie Maritime (1).

Les documents imprimés de l'enquête du Conseil Supérieur de l'agriculture et du commerce contiennent sur la construction des machines de navigation, sur les qualités et les prix relatifs du fer servant à la construction des coques, des renseignements du plus haut intérêt. Ils prouvent que, bien qu'elle soit fort en retard dans cette branche d'industrie, au point de vue de l'extension de ses travaux, la France est assez riche en hommes et en matériaux pour entrer résolûment, bien que sur une petite échelle, en concurrence avec l'étranger.

Examinons maintenant, Messieurs, l'autre ordre d'intérêts qui doit attirer notre attention; ceux de l'industrie générale.

L'année 1860 marquera, à ce point de vue, comme une époque considérable pour la France. Déjà, dans les expositions universelles, la preuve matérielle de notre force avait été donnée, mais on n'en avait pas conclu que nous pussions, sans danger, lutter sur notre marché intérieur, ni atteindre les marchés étrangers. Ce que les expositions avaient prouvé, le Gouvernement a voulu l'accomplir.

Les craintes ont alors été générales parmi les producteurs. Mais une enquête, qui est devenue une exposition universelle d'un autre genre, celle

(1) Les quatre navires construits pour la navigation du Brésil (*Béarn, Guyenne, Estramadure, Navarre*) ont une force nominale de 450 à 500 chevaux de 225 kilogrammètres sur le piston; ils sont à roues.

La vitesse de marche imposée par le cahier des charges est de huit nœuds et demi par heure (15,750m), ils font le trajet à la vitesse de 10 à 11 nœuds (18,500m à 20,570m), et ils ont réalisé aux essais celle de 12 à 13 nœuds (22,000m à 24,076m).

des moyens de production, a eu lieu. J'attire votre attention, Messieurs, sur l'important document qui vient d'être livré à la publicité; il est l'un des traités les plus complets de l'Industrie générale. La mesure des forces y a été prise, et lorsque la réforme économique a été traduite par de nouveaux tarifs, l'ébranlement a cessé sans ruines. Loin de là, l'Industrie est entrée énergiquement dans la voie de la lutte par l'amélioration des instruments du travail.

L'exemple avait été d'ailleurs donné par les constructeurs français, qui, pour la fabrication des machines locomotives et celle du matériel des chemins de fer, luttent avec avantage contre la construction étrangère.

L'enquête avait révélé qu'en ce qui concerne la fabrication du fer, quelques-uns des progrès accomplis par nous dépassent, de beaucoup, ceux de l'Angleterre. Les établissements de Rive-de-Gier, les nouveaux laminoirs de Decazeville, ceux de la forge de St-Jacques à Montluçon; les forges du Creusot et du Nord donnent au fer des formes qui ne sont obtenues en Angleterre ni avec la même facilité, ni au même prix, à qualité égale.

Cependant au moment où les deux industries métallurgiques de la France et de l'Angleterre entrent en concurrence sur le marché français, il nous importe de signaler les perfectionnements considérables que, dans ces dernières années, les usines anglaises avaient reçus. Voici comment les résumait, le 18 octobre dernier, le Président de la Société des ingénieurs civils de Londres, dans le rapport qu'il a présenté à la séance générale annuelle :

« Les perfectionnements qui ont été réalisés dans la fabrication du fer, dans ces dernières années, et ceux qui s'accomplissent aujourd'hui, ont eu pour résultat : Que le rendement moyen annuel des hauts fourneaux s'est élevé de 5,000 à 10,000 tonnes de fonte, et dans quelques usines à 15,000 tonnes. La disposition consistant à renverser le mouvement des laminoirs de manière à agir sur le fer dans les deux directions s'est considérablement étendue. On a aussi placé à côté l'une de l'autre des cages de cylindres tournant en sens inverse. Des feuilles de 32 m/m. d'épaisseur et de 91 centimètres de largeur, ayant 6 mètres de longueur; d'autres feuilles de 112 m/m. d'épaisseur de 91 centimètres de largeur, et de 4 m. 50 c. de longueur, et enfin des barres de 22 mètres de longueur ont pu être fabriquées couramment dans ces laminoirs.

« D'importants perfectionnements dans la fabrication des aciers ont été également réalisés. Des cloches en acier de 2700 k. ont été fondues avec succès. L'acier puddlé, produit directement avec les fontes sortant des hauts fourneaux, a été converti en plaques de grandes dimensions, et le fil d'acier durci à la température du bleu foncé a pu supporter à l'épreuve 200 k. par millimètre quarré.

Les efforts se sont portés avec succès sur les procédés propres à répandre l'emploi de l'acier à bon marché, depuis qu'il a été reconnu par des expériences récentes que cet acier possède, en outre d'autres qualités précieuses, celle d'une résistance double de celle du fer ordinaire. »

Le rapport entre ensuite dans quelques développements sur les perfectionnements que le matériel d'artillerie et les projectiles ont dûs récemment

aux seuls travaux des ingénieurs civils. Il indique en outre la nouveauté des problèmes que soulève le blindage métallique des vaisseaux de guerre, du modèle colossal du *Warrior* et du *Black-Prince*, maintenant en construction (1).

« Il s'agit de donner à ces navires l'énorme poids additionnel de leur armure, de disposer ce poids sur la partie supérieure et sur les parois de la coque, sans altérer les formes et les lignes propres à favoriser la vitesse ; d'obtenir une marche supérieure en conciliant ces conditions avec un accroissement de puissance des machines, et avec les qualités qui assurent la facilité de manœuvrer et la bonne conduite à la mer exigées pour les opérations militaires. »

L'exposé, quelque brillant qu'il paraisse, de la marche de l'industrie métallurgique chez nos voisins, est loin de nous décourager. Sur plusieurs points de la France, nos hauts fourneaux ont doublé leur rendement annuel, et l'ont porté jusqu'à 10,000 tonnes, par une meilleure entente des formes intérieures et des mélanges de minerai et aussi par l'accroissement de puissance des machines soufflantes.

Quant aux perfectionnements dans les parties mécaniques de la fabrication du fer, nous croyons avoir atteint, si non dépassé nos voisins, aussi bien que par les progrès qu'à reçus chez nous la fabrication de l'acier. La force productive de la France trouve sous ce rapport, dans la qualité particulière de ses minerais, des ressources tellement fécondes qu'elles font entrevoir le moment où ses produits pourront entrer, sur les marchés étrangers, en rivalité avec ceux de l'Angleterre.

Il n'est pas un seul instant douteux, que l'industrie métallurgique, comme toutes celles qui ont eu à craindre de la réforme économique un ébranlement profond, n'ait compris la nécessité de se protéger elle-même en suivant, en devançant même s'il se peut, les procédés qui ont fait la force des industries rivales.

Cette nécessité la rapproche de nous. Le maître des forges a, pendant de longues années, préféré un commis de bois à un ingénieur. A part la nécessité du concours de celui-ci dans l'établissement des usines, il l'a, pour son exploitation, considéré comme inutile, si non comme dangereux ; et il est à remarquer que ce sont justement les usines métallurgiques dans l'exploitation desquelles l'ingénieur a participé, qui ont été seules en situation de résister aux usines étrangères. Ce qui s'écroule, c'est ce que le temps avait condamné. C'était du reste un trait tout-à-fait distinct, de la constitution de l'industrie métallurgique en Angleterre et en France, que, pour l'exploitation de cette industrie, les ingénieurs en étaient, chez nous, généralement exclus, tandis qu'en Angleterre l'exploitation leur en était exclusivement confiée.

Incessamment pressés par la réforme économique dont le principe est admis, et dont l'application successive ne sera guère suspendue, les chefs

(1) La frégate blindée, le *Warrior*, a 127 mètres de longueur, 17 m. 50 c. de largeur 12 m. 50 de creux, 6177 tonneaux de jauge (*Builder, s. mesurement.*) et 1250 chevaux de force : elle devait être lancée le 1er janvier de cette année.

de l'industrie devront disposer des connaissances de l'ingénieur ou appeler le concours de ceux-ci à leur aide.

Ce qui est vrai pour la métallurgie, l'est également pour les tissus et pour toutes les grandes fabrications.

Ces considérations, Messieurs, ont ici une utilité directe parce qu'elles démontrent combien il est indispensable que nous tenions constamment allumé parmi nous le foyer des connaissances générales sur les grandes applications industrielles, sans lesquelles les découvertes de détail, l'amélioration des procédés, n'offrent aucun intérêt. Elles nous indiquent aussi la voie dans laquelle il importe d'entrer, dès le début de notre carrière pour compléter la somme d'expérience sans laquelle personne de nous ne peut arriver, dans l'industrie, à une situation satisfaisante. Toute carrière exige du temps une consécration; et ce n'est souvent qu'après un stage alourdi par des sacrifices de toute nature, que l'avenir s'ouvre pour celui qui veut acquérir quelque autorité dans les rangs du travail.

Il semble donc, comme je vous l'ai dit en commençant, que tout soit prêt pour un grand développement d'activité. La résolution du Gouvernement français de considérer l'extension des chemins de fer comme un droit légitime pour les localités qui en sont dépourvues; la création des services transatlantiques; la certitude pour la fabrication française de résister sur le marché intérieur, et l'espoir de lutter, avec certains avantages, sur les marchés étrangers; les effets prochains de l'affranchissement des voies navigables; les améliorations des villes et le développement des constructions particulières; l'organisation des institutions de crédit pour faciliter les moyens d'exécution des entreprises bien conçues; les symptômes politiques qui semblent témoigner d'un immense désir de la paix sur tous les points du globe; tout cela semble ouvrir l'année qui commence sous d'heureux auspices.

M. Hamers invité à continuer sa communication *sur l'emploi de la main-d'œuvre dans l'industrie*, achève la lecture des principaux passages de son mémoire

Nous donnons aujourd'hui le résumé complet de cette communication, commencée dans la séance du 7 décembre 1860.

DISTRIBUTION DE L'EMPLOI DU TEMPS DES TROIS ÉQUIPES constituant la totalité des ouvriers.		RÉCAPITULATION DES HEURES DE TRAVAIL FOURNIES PAR CHAQUE ÉQUIPE. pendant chaque période.		
DÉSIGNATION DES PÉRIODES.	Équipes	Équipe A	Équipe B	Équipe C
1re période, de 3 h. à 6 h. du matin,	A et B	3	3	
2me période, de 6 h. à 9 h. du matin.	C et B		3	3
3me période,, de 9 h. du matin à midi,	C et A	3	3	3
4me période, de midi à 3 h. du soir.	B et A	3		
(Mêmes ouvriers qu'à la première période.)			3	
5me période, de 3 h. à 6 h. du soir.	B et C			3
(Mêmes ouvriers qu'à la deuxième période.)				
6me période, de 6 h. à 9 h. du soir.	A et C	3		3
(Mêmes ouvriers qu'à la troisième période.)				
	TOTAUX....	12 h.	12 h.	12 h.

L'auteur du mémoire, après quelques considérations sur l'importance que l'on doit attacher à la rapidité des travaux industriels, en la conciliant avec une sage modération dans les dépenses, fait remarquer que pendant

a belle saison, et surtout du milieu de mai à la fin de juillet, où l'on peut travailler au jour pendant 18 heures, la durée du jour est beaucoup plus grande que celle de la journée de travail.

Il en déduit que l'on peut, en relayant de trois en trois heures, dans les conditions du tableau ci-contre, les ouvriers présents à l'atelier, obtenir un travail continu, de moitié plus considérable que le travail ordinaire de douze heures, sans accroissement de matériel et sans changement d'installation.

Ce système, que l'auteur intitule *Travail continu de* 18 *heures*, peut être mis en usage aussi bien avec des ouvriers à la tâche qu'avec des journaliers, et rend facile et avantageux l'emploi des animaux.

Après avoir dit quelques mots sur l'organisation de la surveillance et de la direction du travail, M. Hamers démontre que son système offre l'avantage de permettre, sans accroissement de matériel, non-seulement un travail de moitié plus considérable que celui de la journée ordinaire, mais dans certains cas beaucoup plus encore. Les autres avantages principaux sont ces suivants :

Grandes économies sur les dépenses afférentes au matériel et sur les autres parties du capital fixe de l'entreprise ;

Economies sur le capital circulant, frais généraux, fournitures diverses, etc.;

Grande régularité dans la marche du travail;

Diminution des chances d'accidents ;

Amélioration de la surveillance.

Ce système, favorable à l'industrie en général, l'est surtout aux industries qui chôment plus ou moins pendant une partie de la mauvaise saison (que celles-ci s'exercent ou non en plein air).

M. Hamers traite ensuite d'autres systèmes ayant plus ou moins d'analogie avec le précédent :

Travail continu de moins de 18 *heures de jour. Travail continu de plus de* 18 *heures de jour.*

On peut, en modifiant uniformément la durée de chacune des périodes successives indiquées au tableau ci-dessus, obtenir un travail d'une durée totale quelconque, du moins en dessous de 18 heures.

Les avantages de ces systèmes sont analogues à ceux du système qui précède, et en quelque sorte proportionnels à la durée du travail, du moins tant qu'ils permettent à l'ouvrier de fournir individuellement un travail d'une durée totale suffisante, soit tout simplement par l'organisation indiquée, soit avec l'aide de quelque combinaison accessoire.

Au-delà de 18 heures, cette organisation ne conviendrait généralement plus, à cause de la trop grande somme de travail que devrait fournir chaque ouvrier. Il y a lieu, alors, d'employer une méthode basée sur la mise en en activité de deux brigades se succédant alternativement à l'atelier, au lieu de l'équivalent d'une brigade et demie se renouvelant par tiers. Mais il n'y a presque pas lieu de mettre en pratique, en France, un travail continu de plus de 18 heures par jour.

Abordant ensuite la question du *travail de jour et de nuit*, M. Hamers affirme que l'opportunité de celui-ci est plus fréquente qu'on ne le croit communément, et qu'elle le deviendra de plus en plus, bien que les systèmes précédents donnent des facilités nouvelles pour l'éviter. Il pense que les intermittences ou intervalles d'inaction des modes anciens ne valent pas mieux, au contraire, la nuit que le jour.

Si le travail *intermittent* de jour et de nuit est remplacé par un travail *continu*, et que celui-ci dure 18 heures ou moins, son organisation ne différera pas de ce qu'elle serait si le travail s'exécutait entièrement à la lumière du jour.

Si, au contraire, il doit durer quotidiennement 24 heures, ou de 24 à 18 heures, il y aura lieu d'utiliser deux séries ou brigades d'ouvriers se succédant de 8 en 8 heures pour le travail de 24 heures, à des intervalles moindres pour un travail d'une moins grande durée totale, et faisant une légère collation, sans interrompre le travail, vers le milieu de leur période d'activité.

Tandis que les systèmes exposés précédemment sont nouveaux et de son invention, M. Hamers déclare que celui-ci ne l'est point; mais il n'est pas assez connu, pas assez usité. Aussi a-t-il cru devoir en parler; il en a, d'ailleurs, obtenu lui-même de très-bons résultats.

Ce qui vient d'être dit s'applique particulièrement à la France et à tous les pays situés sous la même latitude, mais peut être utile aussi pour d'autres contrées, moyennant quelques modifications à faire en tenant compte des variations diverses de la durée des jours, du climat, de l'état physique et moral des populations, des habitudes de longue date de la majorité des ouvriers et de leur genre de nourriture.

M. Hamers ajoute qu'il a fait précéder la conclusion de son mémoire de considérations sur la nourriture, le logement et les soins hygiéniques et médicaux nécessaires ou convenables aux ouvriers, spécialement en pays étranger.

Il termine en faisant remarquer que le but de ses systèmes est en résumé de remplacer, le plus souvent possible, le travail *intermittent*, ordinairement usité jusqu'à ce jour, par un travail *continu* et d'une durée notablement plus grande, soit pendant le jour, soit pendant le jour et la nuit. Le second de ces modes de travail exige souvent assez peu de frais supplémentaires pour être employé avec opportunité. Quant au travail continu de jour, on peut dire d'une manière générale qu'il n'est point onéreux, et qu'il procure ordinairement des avantages, des surcroits de bénéfices très-grands (quoique assez variables), en même temps qu'une activité considérable.

Sur la proposition de M. Faure, M. le Président propose à l'assemblée de voter à M. Vuigner, Président sortant, les remercîments les plus sympathiques pour le service qu'il a rendu à la Société en lui faisant obtenir le titre de Société d'utilité publique.

Ces remercîments sont votés à l'unanimité.

MM. Mollard, Duval, (Raoul) Verrine, Normand fils, Servier et Champouillon ont été reçus membres de la Société.

SÉANCE DU 18 JANVIER 1861

Présidence de M. Eugène Flachat

Il est donné lecture d'une lettre par laquelle M. Doyère informe qu'une sérieuse indisposition l'empêche de venir faire sa communication sur les procédés de conservation des grains par l'ensilage.

Cette communication sera reportée à l'une des plus prochaines séances.

M. Desmousseaux de Givré présente l'analyse de son mémoire sur la coulisse de Stephenson et la distribution à détente variable produite par un seul tiroir à recouvrement. Ce mémoire sera inséré au bulletin de la Société.

Répondant à une question de M. le Président au sujet d'une machine locomotive à pression de 10 à 11 atmosphères, de fabrication anglaise, dont M. Desmousseaux de Givré étudie la distribution dans son mémoire ; M. Chobrzynski indique que les organes de la distribution ont des dimensions ordinaires, et que les surfaces de friction n'y sont pas plus étendues que dans les machines ordinaires ; que les cylindres sont petits, et les lumières des tiroirs très-grandes, ainsi que les conduits de sortie de vapeur, tandis qu'au contraire, les conduits d'admission ont une section très-réduite. Cette machine ne fonctionne bien qu'à haute pression.

Il est donné lecture d'un rapport de M. Rœbling, ingénieur du pont suspendu du Niagara, sur l'état de cet ouvrage cinq ans après son achèvement. Ce document, dont la traduction est due à M. Chobrzynski, renferme des considérations sur l'altération de l'état moléculaire du fer.

On fait observer que dans l'examen des circonstances qui permettent d'attribuer au pont du Niagara une longue durée, M. Rœbling a omis d'indiquer que les amarres de cet ouvrage ne sont pas noyées ; un certain nombre de ponts suspendus en France ont été assez rapidement détruits, parce que les amarres n'avaient pu être placées au-dessus du niveau des eaux.

L'assertion de M. Rœbling que les câbles du pont de Fribourg sont altérés est contestée. Les câbles d'amarrage de ce pont sont à l'abri des eaux dans des cheminées garnies de chaux éteinte ; on a plongé dans ces cheminées, à côté des câbles, des fils d'épreuve dont on retire tous les ans

un certain nombre pour se rendre compte des altérations qui pourraient se produire.

Un membre dit qu'il a assisté il y a quelques années à une de ces opérations dont le résultat fut beaucoup plus satisfaisant que ne semble l'admettre M. Rœbling.

L'auteur du rapport attribue à la température une influence sur la solidité des câbles qu'il ne cherche pas à expliquer. On admet que les variations de la température ont pour effet de faire travailler les fils plus ou moins inégalement, mais qu'elles ne sont pas une cause d'altération.

M. Rœbling affirme que le fer fibreux ne peut pas devenir cristallin ; cette opinion est partagée par un grand nombre d'ingénieurs. Il est certain que des essieux, dont la cassure présentait au centre de gros cristaux, avaient été fabriqués avec des fers fibreux ; mais cette disposition de la texture, que l'on rencontre également dans la fonte, s'explique par le mode d'action du laminoir ou de marteaux légers qui ne compriment que les fibres extérieures, et l'état cristallin des parties centrales ne provient pas des fibrations mais de la dilatation que permet ce mode de préparation du fer. La construction des canons Armstrong est basée sur l'observation de faits analogues, et c'est ce qui a conduit à forger ces pièces par petites mises et à l'aide d'engins très-puissants.

L'opinion de M. Rœbling, qui attribue la texture fibreuse du fer à l'interposition du laitier sous forme de gaine, ne semble pas admissible. On ne saurait non plus admettre avec lui que l'étirage par le marteau et le laminoir d'un essieu fatigué puisse en augmenter la durée. On rappelle un exemple remarquable du contraire à propos des essieux des malles-postes ; ces essieux étaient construits sous la surveillance d'un officier d'artillerie, qui crut devoir les faire étamper au rouge cerise ; mais il ne tarda pas à reconnaître que, lorsque cet étampage passait certaines limites, les essieux cassaient promptement et que la cassure présentait la forme de gouttes de suif. Cet étampage allongeait les fibres intérieures et déterminait dans l'intérieur de la pièce des tensions initiales.

La suppression de l'étampage eut pour effet de rendre les ruptures d'essieux beaucoup moins fréquentes.

M. La Salle ne croit pas que les fibres puissent s'altérer si le fer est employé dans des conditions convenables, il attribue le grain dans la plupart des cas et lorsqu'il s'agit de fers fins à la présence du carbone qui, selon lui, distingue le fer fort du fer doux ; ce qui le confirme dans cette opinion, c'est que l'acier vif ne présente jamais de nerf ; il distingue cependant le fer cristallin du fer grenu ; examinés à la loupe, les grains présentent l'aspect de crochets, et l'on peut arriver, par l'étirage, à donner à ces crochets la forme fibreuse. La forme cristalline est le plus souvent un indice d'impureté dans le fer, cependant elle peut aussi exister accidentellement dans les bons fers, surtout lorsque ceux-ci ont été soumis longtemps à une haute température et refroidis lentement ; les fers aciéreux purs sont, plus que les autres, exempts de cet inconvénient.

On répond que l'opinion que vient d'exprimer M. La Salle paraît con-

traire à la méthode suivie dans la fabrication du fer, où les fers durs et fort; sont justement les plus travaillés, c'est-à-dire les plus exempts de carbones qu'il est vrai que, chez MM. Petin et Gaudet, on cherche à ne pas pousser la décarburation trop loin pour conserver au fer ses qualités aciéreuses auxquelles on attribue la tenacité du fer et plus de facilité pour le travailler; mais que ce procédé n'est pas assez généralement suivi pour être considéré comme une règle de fabrication.

M. La Salle répond que cela a aussi et surtout pour but de faciliter le soudage; il admet que la présence du carbone a pour effet de réduire, sous l'influence de la haute température, la couche d'oxide qui se forme sur les mises, et de produire un décapage qui facilite le soudage. L'utilité de ce décapage peut être mise hors de doute par l'exemple du platine qui n'est pas oxidable et se soude à froid par simple pression; on peut encore citer le soudage des mises d'acier des lames de rabot qu'on obtient, au rouge seulement, au moyen du borax. Enfin on en voit la preuve dans ce fait: qu'on obtient des soudures plus parfaites en corroyant de l'acier qu'en corroyant du fer doux, quoique cependant l'opération du soudage soit plus difficile pour l'acier que pour le fer. C'est du reste au principe de la production des fers à grains ou fers aciéreux par le puddlage à haute température, et grâce aussi à l'emploi de fontes au bois les plus pures possibles qu'on est parvenu, à l'aide d'engins mécaniques très-puissants, à obtenir pour les grosses pièces de forge, une grande supériorité eu égard à l'homogénéité, la perfection de la soudure et la qualité.

Quant à l'influence du carbone sur la texture grenue, M. La Salle la constate dans l'aspect d'une barre composée de mises en fer à grains, qui présente souvent du nerf aux points de contact des mises où s'est produite une décarburation.

On fait observer que l'hypothèse que vient de développer M. La Salle sur le rôle du carbone dans la soudure ne rend pas compte de la difficulté de souder les fers purs; on sait en effet que le fer n° 1 est beaucoup plus facile à souder que le fer corroyé.

M. La Salle dit que, lorsqu'il s'agit de fers puddlés provenant de fontes au coke, on peut expliquer la plus grande facilité de soudage des fers n° 1 par la présence des laitiers qui rendent fusibles les pailles d'oxide intercalées, ce qui en permet l'expulsion par l'action du laminoir ou du marteau. Les fers rendus tendres par la présence du silicium et du phosphore sont dans le même cas. L'idée qu'il a émise s'applique seulement aux fers supérieurs et en général aux fers purs.

Un membre cite la fabrication des rails en fer n° 1 comme un exemple de la facilité de soudage du fer pudlé, mais il indique que ce soudage est plutôt apparent que généralement régulier; il se produit seulement un encollage de distance en distance, les autres parties sont liées par le laitier qui fonctionne comme le borax dans la soudure du fer du rabot. Dans cette fabrication spéciale, on est obligé de tolérer des couvertes en deux pièces parce que l'on ne pourrait obtenir, par la fabrication ordinaire, des barres ant tou te la largeur du paquet. Du reste, l'opinion de M. La Salle con-

firmerait ce qui est aujourd'hui acquis dans la fabrication du fer à savoir que le fer n° 1 est d'une qualité inférieure à celle des fers plus travaillés. Aussi la substitution, dans la fabrication des rails du fer n° 1, au mélange de fers n° 1 et 2 doit-elle être mûrement examinée. L'intensité de l'étirage a, du reste, une grande influence sur le produit, un pilonnage énergique facilite surtout l'expulsion des laitiers et des scories dont la fluidité et la température semblent augmenter à mesure que le cinglage réduit le volume de la pièce, comme si cette opération mécanique avait pour effet d'augmenter la température par un effet analogue à celui qui se produit lorsque le fer froid est soumis à un changement de forme rapide et violent.

M. Faure indique que la différence entre l'action de la presse et celle du pilon tient à ce que celui-ci déchire les surfaces qui emprisonnent les scorie; quant aux différences de fluidité et de température à la fin du cinglage, elles doivent être attribuées au contraste que produit la couleur moins vive du paquet.

Quant à la sécurité relative qui, suivant M. Rœbling, caractériserait le pont du Niagara dont les câbles ne travaillent qu'au cinquième de la résistance absolue du fil de fer, M. Faure fait observer que les coëfficients admis en France sont à peu près dans la même limite.

M. le Président annonce que le *Moniteur* a fait connaître la promotion de M. Mary au grade de commandeur de la Légion-d'Honneur; il rappelle à cette occasion combien le nom de M. Mary est cher et vénéré parmi les ingénieurs civils.

Cette nouvelle sera donc accueillie avec sympathie par tous les membres de la Société.

SÉANCE DU 1er FÉVRIER 1861

Présidence de M. Eugène Flachat.

M. le Président donne lecture d'une lettre par laquelle M. Mary, professeur à l'Ecole Centrale, remercie la Société du témoignage qu'il en a reçu à l'occasion du grade de Commandeur de la Légion-d'Honneur, auquel il vient d'être promu.

La parole est donnée à M. FAURE pour une communication sur une note intitulée : *Théorie de l'engrenage hyperboloïde, par M. J. B. Belanger.*

Vous connaissez tous, dit M. Faure, la transmission *par poulies et courroies*, entre deux axes non situés dans un même plan et faisant entre eux un certain angle, avec son aspect si original, aux apparences presque paradoxales; vous savez en outre que l'on emploie quelquefois, et notamment dans les transmissions de mouvement aux broches de filatures, dites *broches à engrenage*, un genre d'engrenages à axes, non situés dans un même plan, que l'on a très-improprement regardés comme des engrenages coniques.

Le docteur Willis, dans un livre remarquable et particulièrement utile, a publié sous le titre : « Principles of mechanism, » et cherché déterminer la génération et les conditions de fonctionnement de *deux hyperboloïdes de révolution*, donnant la solution directe de la conduite réciproque et par friction, entre deux axes inclinés entre-eux et non situés dans un même plan.

La simple et ingénieuse théorie donnée par M. Bélanger, après avoir constaté d'abord deux erreurs essentielles commises par le docteur Willis, fait voir que, dans le cas particulier où les axes donnés sont à angle droit, les rayons des cercles de gorge doivent être réciproques aux carrés des vitesses angulaires.

Elle détermine en outre, par une étude analytique simple et complète, *toutes les conditions de tracé de l'épure* propre à déterminer les deux surfaces hyperboloïdes qui le conduisent réciproquement, « en selle l'une sur l'autre » comme le dit M. Bélanger, en langage on ne peut plus expressif.

Sous l'inspiration directe et sur les indications de M. Bélanger, M. Clair a construit le joli modèle que je mets sous vos yeux.

Il fait bien comprendre comment doivent être conçus et comment fonctionneraient avec simplicité, avec une douceur extrême, des engrenages qui auraient pour surfaces primitives les hyperboloïdes déterminés par la théorie de M. Bélanger.

La mécanique en général, et en particulier celle des MACHINES-OUTILS qui, vous le savez, a besoin d'organes fonctionnant dans des conditions géométriques voisines de l'absolu, doivent utiliser les notions contenues dans la note de notre maître vénéré, dans tous les cas où les efforts à transmettre seront assez importants pour que l'on n'ait pas besoin de se préoccuper outre mesure des frottements dus au glissement latéral.

Je suis donc heureux que M. Bélanger ait bien voulu me réserver l'honneur de vous présenter et sa note et son modèle, de même que je serai heureux de lui redire l'intérêt avec lequel vous venez de les accueillir. Je suis chargé de vous faire connaître, en outre, que M. Bélanger a déposé à l'Ecole centrale un certain nombre d'exemplaires de sa note, pour être remis à ceux d'entre nous qui les iront demander.

M. le Président, après avoir remercié M. Faure de cette communication,

le charge de redire à M. Bélanger le vif intérêt avec lequel elle a été accueillie par la Société.

M. le PRÉSIDENT donne lecture de fragments d'une lettre qu'il a reçue d'un des membres de la Société, relativement à la discussion qui a eu lieu dans la précédente séance sur la fabrication des rails en fer n° 1.

D'après l'auteur de la lettre, si le fer sortant du four à puddler peu produire immédiatement des barres sans criques, il est propre à faire des rails.

Il n'y a aucun inconvénient que la couverte se compose de diverses feuilles ; le laitier de l'intérieur du paquet ne s'en écoule au contraire que plus facilement.

Mais cette fabrication exige des moyens énergiques, tels que le martelage du paquet sur les quatre faces ; l'étirage au laminoir présente, en outre, dans les usines anglaises où se fabriquent les rails avec le fer n° 1, le rapport de 1 à 13 entre la section du paquet et celle du rail, tandis qu'en France, dans la fabrication ordinaire, ce rapport ne dépasse pas 1 à 8.

Quant au triage, il est couramment éxécuté pour la fabrication dont il s'agit Le fer à grain est, dans la composition du paquet pour le rail Vignoles, placé à la partie supérieure ; le fer présentant la texture du nerf et du grain mêlé est réservé pour le bas, le fer nerveux ou fibreux est mis à l'intérieur.

On rappelle que, dans la séance précédente, l'opinion que le fer n° 1 est moins pur que celui qui a subi des élaborations plus nombreuses a été soutenue et qu'en conséquence la substitution du fer n° 1 dans le champignon du rail en fer n° 2 méritait toutes les précautions dont on a jugé à propos de l'entourer.

M. CHOBRZYNSKI analyse ensuite le mémoire lu par M. Bessemer devant la Société des ingénieurs civils anglais, mémoire qu'il a bien voulu traduire in-extenso ainsi que la discussion qui a eu lieu au sein de cette Société.

Ce mémoire devant être publié dans le bulletin de la Société, il n'en est donné ici que les faits sur lesquels la discussion s'est portée.

M. Bessemer rappelle les procédés en usage pour la fabrication du fer ; la fonte en saumon, ou liquide sortant du haut-fourneau, est traitée dans les feux de finerie, elle est exposée à un courant d'air violent sous un angle convenable, au bout de trois heures elle est considérée comme susceptible d'être traitée dans les fours à puddler, et elle est coulée en plaques minces et fragiles qu'on brise. Le *fine métal* est alors placé dans les fours à puddler où, profitant de la propriété qu'ont les métaux de perdre leur cohésion et de tomber en poussière lorsqu'ils sont échauffés à une température voisine du point de fusion, l'ouvrier s'efforce d'amener au contact de l'air chaque parcelle, de manière à brûler le carbone ; au bout d'un certain temps *le métal prend sa nature*, l'ouvrier l'agglomère en boule.

Ces boules sont portées sous le marteau, et par des chocs répétés on fait écouler les scories ; mais comme il reste toujours dans les loupes des impuretés, elles ne sont pas homogènes, et lorsqu'on les passe au lami-

noir, il y a des défauts de soudure, des criques. Dans les opérations successives qui amènent le fer à l'état marchand, bien peu de ses impuretés sont enlevées, de sorte que de l'opération du puddlage résultent toujours des défauts. Et, bien qu'on admette généralement que le puddlage donne du nerf au fer, des expériences faites avec soin, dans une usine réputée pour bien travailler, ont fait voir que la cassure du fer puddlé était à larges cristaux brillants, cristaux qui se produisent dans tous les métaux qui sont maintenus longtemps à une température élevée.

On retrouve les défauts du fer dans les aciers qui en proviennent.

Les métaux qu'on obtient les plus purs sont tous traités par liquation ; M. Bessemer s'est demandé s'il ne serait pas possible de fabriquer le fer de la même façon ; jusqu'à présent dans les fours employés on n'a pu arriver à une température assez élevée, mais M. Bessemer a pensé qu'il était possible de convertir la fonte en fer malléable pendant que celle-ci était encore liquide, et de conserver sa fluidité assez longtemps sans addition de combustible pour couler dans des moules le métal ainsi obtenu.

L'expérience a démontré que, conformément aux vues de l'inventeur :

1° La fonte peut être complétement décarbonée pendant qu'elle est à l'état de fusion ;

2° L'air injecté à travers le métal fondu produit, sans addition de combustible, une température supérieure à celle qu'on peut obtenir dans les opérations métallurgiques ;

3° La température du fer décarburé se conserve assez longtemps pour que celui-ci puisse être coulé en lingots.

Le procédé a été mis en pratique et il a donné des produits supérieurs ou au moins égaux à ceux obtenus par les anciens procédés.

Les fers obtenus ne sont pas cristallins, la solidification du métal ayant lieu brusquement dans les lingotières, et la température n'étant pas maintenue assez longtemps pour que la cristallisation ait lieu. Ils sont doux, résistants et nerveux parce qu'ils ne contiennent pas de scories empêchant la soudure, et on n'est pas obligé, comme avec les fers puddlés, d'ajouter des battitures pour enlever les scories, ou d'ajouter du sable pour enlever l'oxyde.

Enfin, les échantillons font voir que le fer obtenu par le procédé Bessemer est doux et flexible.

Toutefois, l'inventeur avoue avoir échoué pour le traitement des fontes contenant du phosphore et du soufre. Il a cherché alors à se procurer des fontes exemptes de ces corps, et il a trouvé que l'Angleterre n'avait pas besoin d'aller chercher en Suède des minérais purs ; il existe dans la Grande-Bretagne des mines inépuisables d'hématite, de fer spathique, de carbonate blanc, de minerai magnétique ayant toutes les qualités requises pour une bonne réussite.

Ces minerais, bien que coûtant cher de transport, ont un rendement qui compense en partie les frais de transport ; et l'économie réalisée par le procédé Bessemer permet aux fers fabriqués avec eux d'entrer en concur-

rence, pour le prix, avec les fers de fabrication ordinaire, bien que ceux-ci soient inférieurs comme qualité.

L'appareil employé pour la réduction consiste en un grand vase en fer, muni d'un col par lequel on introduit la fonte, et on fait écouler le fer après la réduction ; la paroi intérieure est garnie d'un enduit réfractaire qui coûte 20 schellings (24 francs) environ et qui suffit pour le travail de 70 à 90 tonnes.

Le vase est suspendu par son centre, de sorte qu'il puisse tourner autour d'un axe de manière à présenter l'ouverture horizontalement pour recevoir la fonte, être redressé verticalement pendant l'injection de l'air qui se fait par la partie inférieure, et enfin incliné de nouveau et vidé dans la lingotière.

L'air se répandant à travers la masse métallique se divise en une infinité de bulles qui s'échappent avec violence entraînant un grand nombre en partie de parcelles de métal qui retombent dans la masse bouillonnante; tout l'appareil tremble par l'agitation intérieure, des flammes rouges s'échappent par l'ouverture du vase, puis les flammes deviennent violettes, oranges et enfin blanches. Des étincelles d'abord très-larges deviennent plus petites et pétillantes, enfin elles paraissent blanches et claires; tous ces phénomènes permettent de suivre la marche de l'opération, pour laquelle on est guidé en outre par le compteur à air.

La formation d'une couche de scories est très-avantageuse en préservant la masse du refroidissement; la température dépasse toutes celles obtenues jusqu'à ce jour.

L'oxigène enlève le silicium qu'il transforme en acide silicique, puis ensuite il agit sur le carbone ; il se forme des scories qui restent dans l'appareil et qui contribuent à la purification du produit. Elles ne se mélangent pas au fer qui reste pur, et le déchet est seulement de 16 0/0. Toutes les manœuvres se font mécaniquement, et le contre-maître peut, pour ainsi dire, faire tout par lui-même.

M. Bessemer présente des échantillons, sur lesquels on peut reconnaître la qualité du fer obtenu qui a une résistance de 47 à 50 kilog par mm. q., tandis que le fer ordinaire ne résiste que jusqu'à 32 ou 40 kilog. au plus.

M. Bessemer examine ensuite la possibilité de laminer des tôles d'une longueur indéfinie en profitant de la liquéfation du métal, de couler des canons, etc., etc., à des prix qui n'atteindraient que 164 à 165 fr. la tonne.

Il pense que l'on pourra substituer dans l'industrie l'acier au fer, l'acier pouvant être fabriqué par son procédé avec une main-d'œuvre qui n'est pas plus coûteuse et un déchet inférieur de 8 0/0. M. Bessemer a pu fabriquer des tubes en acier étirés.

Tous les échantillons apportés démontrent l'excellence du produit.

M. Bessemer rappelle que son procédé est employé dans toute l'Europe.

En terminant, M. Chobrzynski cite l'opinion de M. Bramwell qui assure n'avoir pu travailler des fers qui avaient été fabriqués par M. Bessemer, et qui craint que les échantillons présentés ne proviennent pas d'une fabrica-

tion normale, il fait remarquer que M. Bessemer est forcé d'employer des minerais d'un prix élevé (30 shellings (36 francs) la tonne) ; qu'ensuite il craint qu'on ne puisse produire de grandes quantités à la fois.

M. Bessemer répond qu'il peut fabriquer des pièces pesant 7 à 10 tonnes.

Le colonel Eardley Wilmat a fait, à Woolwick, des expériences qui confirment tout ce qu'avance M. Bessemer ; il a pu plier à froid jusqu'au contact parfait une barre de 4 pouces de diamètre ; le fer est presque pur. L'analyse chimique ne fait découvrir que des traces de carbone, de phosphore et de manganèse ; l'acier a donné d'excellents outils à tourner.

Avant de passer à la discussion, il est entendu que le Bureau prendra les dispositions nécessaires pour que le mémoire qui vient d'être analysé soit mis à la disposition des membres qui voudront l'examiner avant sa publication dans le bulletin.

On fait observer que le déchet de 16 0/0 semble prouver que l'opération ne donne des produits convenables qu'aux dépens d'une grande perte de fer ; qu'il est vrai que les fontes à la houille subissent un déchet semblable par le puddlage, mais que cela s'explique par le contact dans cette opération de matières qui produisent du laitier et des scories en grande abondance ; que l'action de l'air n'ayant, dans l'appareil Bessemer, d'autre effet utile que de fournir de l'oxigène au carbone, des déchets aussi considérables ne peuvent provenir que d'une combustion considérable du fer, résultant, vers la fin de l'opération, de l'élévation de la température. Il semble impossible en présence d'une grande abondance d'air de produire la décarburation seule sans donner lieu à la combustion du fer. Lorsque dans les forges maréchales le fer est élevé à la température soudante, la combustion du fer est signalée par des étincelles étoilées du genre de celles qui sortent de l'appareil Bessemer quand le jet de flamme devient blanc.

M. La Salle dit que le procédé Bessemer est rationnel quand il ne s'applique qu'à des fontes pures ou tout au moins exemptes des matières étrangères capables de nuire à la qualité du produit, parce que l'élimination de ces matières nuisibles exige un temps beaucoup plus long que ne le comporte la rapidité extrême avec laquelle s'opère la décarburation.

L'objection principale qui a été faite à ce procédé est la proportion excessive de déchets qui devait résulter de la combustion du fer nécessaire pour élever la température du bain. Cette objection serait fondée s'il s'agissait précisément d'affiner des fontes impures, parce qu'en effet il faudrait se résoudre à brûler ou oxider beaucoup de fer avant d'arriver à expulser toutes les matières nuisibles. Si encore on pouvait y parvenir ! Mais, dès qu'il ne s'agit plus que de décarburer une fonte pure, il lui semble difficile d'admettre qu'on soit exposé à brûler beaucoup de fer, car tant que la fonte retient du carbone, l'oxide formé ne peut exister en suspension dans le bain sans servir immédiatement à la réaction et sans contribuer par conséquent à la réduction du fer.

La présence simultanée dans le métal liquide de l'oxigène et du carbone est incompatible. On en trouve la preuve dans ces faits : Que jamais l'ana-

lyse n'a pu constater la présence de l'oxigène dans la fonte, et que réciproquement on n'a pu découvrir aucune trace de carbone dans les fers brûlés qui ne sont, à tout prendre, que des fers tenant en dissolution de l'oxigène.

Toute la difficulté de l'opération doit être de l'arrêter juste à temps, c'est-à-dire de l'arrêter juste au moment où la fonte est entièrement décarburée, s'il s'agit de produire du fer, ou avant la complète décarburation, s'il s'agit de produire de l'acier.

On peut bien admettre que l'ébulition tumultueuse, qui se produit dans le bain par suite de la réaction de l'air à haute pression et par suite de la réaction elle-même, peut déterminer l'entrainement de parcelles de fer qui, se trouvant alors dans un milieu où l'oxigène domine, se brûlent et forment la gerbe d'étincelles observées; mais la chaleur produite par cette combustion ne serait pas précisément celle qui élève la température du bain métallique, parce qu'elle est entraînée par le courant d'air.

L'oxide formé à l'intérieur de l'appareil, qui se trouve en contact avec le silicium de la fonte et les matières argileuses qui composent le revêtement intérieur du creuset, donne de son côté naissance à des scories et provoque par conséquent un déchet plus considérable que celui qui résulterait simplement de la combustion du carbone; mais assurément si l'opération, en raison de la pureté de la fonte, est de très-courte durée, s'il ne s'agit que de quelques minutes, on ne doit pas s'attendre à des déchets considérables, et les chiffres de 15 à 16 0/0 accusés par le mémoire ne présentent par eux-mêmes rien d'exagéré.

Au reste, dans la fabrication du plomb, du cuivre, et d'un grand nombre de métaux, il se passe quelque chose d'analogue pour l'affinage et qui tend à prouver mieux encore que l'oxigène ne peut exister dans le métal en même temps que le carbone.

Pour raffiner le cuivre par exemple, on commence par l'oxider fortement par un courant d'air pur dirigé sur la surface du bain; l'oxigène pénètre dans la masse, oxide les métaux étrangers qui se trouvent en faibles proportions; puis, lorsqu'on juge que le cuivre est suffisamment purifié, on fait réagir le carbone en projetant du charbon de bois et en soumettant le bain à une forte ébullition par l'immersion d'une perche de bois vert.

Tant que le métal retient de l'oxigène, il n'absorbe pas de carbone, la réaction n'a lieu qu'à la surface, l'ébullition a pour but de multiplier les surfaces. Mais dès que le cuivre est purifié d'oxigène, le carbone y pénètre, s'y dissout, et, si l'ouvrier n'est pas assez habile pour arrêter l'opération au moment convenable, au lieu de cuivre oxigéné, il obtient du cuivre carburé; il est alors obligé de faire intervenir de nouveau le courant d'air pur. Le passage d'un état à l'autre se distingue très-exactement par l'examen de la surface du bain liquide qui est terne et ridée tant que le métal retient de l'oxigène, et qui devient brillante et glacée comme un miroir lorsque le carbone a remplacé l'oxigène. Ou bien encore au moyen des petits lingots d'épreuve qu'on retire successivement, lesquels présentent à la

cassure une texture grenue et une couleur très-rouge tant que le cuivre retient de l'oxigène, une texture grenue, couleur jaune quand le cuivre est carburé, et enfin une texture soyeuse, couleur rosée quand le métal est pur.

On demande s'il n'est pas à craindre que le défaut d'homogénéité qui a été constaté pour les aciers produits par le puddlage, n'atteindra pas les produits fabriqués par l'appareil Bessemer.

On rappelle à ce propos, que les bateaux à faible tirant d'eau, construits l'un en tôle mince de fer homogène (fer refondu), et l'autre en tôle d'acier puddlé, pour l'expédition récente du docteur Livingston dans l'Afrique centrale, ont été en peu de temps perforés de milliers d'ouvertures qui en ont fait de véritables cribles. Cela n'est-il pas dû à la présence du soufre et du phosphore? L'altération s'est produite sous la peinture qui était dans le meilleur état, à l'extérieur comme à l'intérieur; elle commençait par une réduction en poussière, d'abord superficielle, puis gagnait en profondeur et traversait ainsi l'épaisseur de la tôle. Il a fallu faire une nouvelle enveloppe en bois à l'intérieur et à l'extérieur, afin de pouvoir naviguer avec sécurité.

De pareilles altérations se sont montrées dans des tôles d'acier puddlé employées à la confection des générateurs.

M. Chobrzynski répond que la cause de ces altérations ne semble provenir que de vice dans le traitement ou dans la fabrication; mais, que cela ne semble pas à craindre du procédé Bessemer, dont les produits sont *incontestablement* homogènes; lors qu'il ne s'applique pas aux fontes *sulfureuses* ou phosphoreuses.

M. Faure dit que l'homogénéité doit résulter de ce fait, que la masse en traitement est soumise à une extrême agitation; que l'air qui la traverse n'y cause une si grande ébullition, que parce qu'il se produit à la fois un contact avec toutes les molécules et un mouvement résultant de l'élévation de température qu'amène la réaction chimique. La difficulté est seulement de déterminer le moment de cesser l'opération.

Cette discussion sera reprise après l'impression du mémoire.

M. Malo donne lecture d'une note sur la construction de blocs artificiels en béton d'asphalte pour les fondations maritimes. Il rappelle d'abord que toutes les chaux, toutes les pouzzolanes essayées jusqu'à ce jour n'ont pu résister à l'action prolongée, de l'eau salée, elles sont attaquées par les sels de magnésie qui détruisent la cohésion, en transformant ces calcaires en produits solubles.

C'est, surtout, sur les blocs artificiels en béton ou en maçonnerie de moellons dont la solidité dépend certainement de l'action chimique, que s'exercent ces redoutables ravages, les blocs auxquels on donne généralement la forme de parallélépipèdes rectangles, reçoivent les chocs répétés des vagues, puis, en perdant leurs arrêtes et leurs angles qui sont attaqués tout d'abord, ils sont envahis et détruits.

Le problème à résoudre, dit M. Malo, est de TROUVER UN CIMENT DONT LES ÉLÉMENTS N'AIENT AUCUNE AFFINITÉ POUR LES SELS DE LA MER. Ce ciment est l'asphalte.

« Le mastic d'asphalte est un carbonate de chaux tendre imprégné de « bitume ou malthe dans la proportion de 8 p. 0/0 pour 92 de carbonate « calcaire ; il s'extrait à Seyssel (Ain), au Val Travers (Suisse) et ail- « leurs.

« Ce ciment est réduit en poudre, soumis, dans des chaudières spéciales, « à une cuisson de 5 ou 6 heures, avec addition d'une petite quantité de « bitume semblable à celui qu'il renferme déjà. Après cette cuisson il « est coulé en pains dans des moules.

« C'est ce mastic qui, additionné de sable, sert à la confection des trot- « toirs; ce mastic est un ciment énergique. il adhère à la pierre avec une « telle force qu'on ne peut l'en détacher sans la casser, il jouit enfin d'une « sorte d'élasticité qui lui permert de supporter les chocs les plus violents « sans se briser et sans se fissurer. »

La nature même de ce ciment le rend inattaquable par les sels de la mer, le carbonate de chaux étant insensible aux agents marins et le bitume n'étant dissout que par les huiles, les essences, les éthers, les alcools, et le naphte ; l'expérience a confirmé ces vues, des blocs en asphalte immergés en novembre 1859 n'ont pas été seulement effleurés.

Au mois d'avril dernier de nouveaux essais ont été faits aux travaux de défense à la Pointe de Grâve (Gironde). Des blocs faits entièrement en mastic d'asphalte eussent coûté fort cher, même en introduisant dans le mastic des pierres ou des cailloux en grande quantité. Or, comme les pierres ou cailloux sont simplement destinés à faire du poids et à tenir de la place, il suffirait, pour diminuer le prix de revient, de n'employer l'asphalte qu'à la surface des blocs et composer le centre avec des matériaux à bas prix, qui n'eussent d'autre mérite que leur poids spécifique. C'est sur ce principe qu'ont été établis les blocs de la Pointe de Grâve ; sur une plate-forme on a monté une caisse à mouler les blocs en béton ordinaire, on a disposé à une distance de 0,40 à 0,50 les uns des autres des moellons à longue queue piqués sur la face qui reposait sur la plate-forme, puis on a coulé une épaisseur de 10 cent de béton d'asphalte ; ce béton est ainsi composé :

5 bitume pur 95 mastic d'asphalte	fondus ensemble dans une chaudière semblable à celles employées dans les rues de Paris.
150 pierres ou galets cassés 250	ajoutés en trois fois dans la masse et agités avec elle de manière à être bien imprégnés de mastic.

Avant que cette couche de béton d'asphalte fut refroidie, on y a répandu du gros cailloux cassé damé fortement, de manière à le faire pénétrer dans le mastic, puis on a laissé réfroidir.

Sur cette couche on a monté le massif de maçonnerie, qui se trouvait en parfaite liaison par les queues des moellons ; ce massif avait sur chaque face 10 centimètres de moins que les dimensions fixées pour le bloc. A

l'extérieur les joints des moellons furent dégradés profondément de manière que les parements fussent abruptes et irréguliers.

Les cotés de la caisse qui avaient été démontés pour faciliter le travail furent remontés, puis le béton d'asphalte coulé dans les vides ; il forma ainsi tout autour du bloc une couche dont l'épaisseur varie de 8 à 15 centimètres.

Quatre blocs ainsi construits furent immergés à la Pointe de Grâve.

Des essais plus importants vont être tentés ; trois blocs cubant 26^{m} chacun seront coulés à Rochefort, sur un point réputé dangereux entre tous pour les travaux en mer.

En supposant un bloc de 9^{m} revêtu d'une épaisseur moyenne de 0^{m}10, on peut établir le devis suivant, en supposant que le travail s'exécute en un port quelconque de l'Océan, depuis Dunkerque jusqu'à Bayonne.

Noyau, maçonnerie de moellons bruts et chaux grasse, 6^{m}5 à 21 fr..	136 fr. 50
Enveloppe, béton d'asphalte de Seyssel, 2^{m}5 à 125 fr. 40 c.	313 50
Total, abstraction faite des frais généraux et bénéfices. .	450 fr. »

Soit par mètre, 50 fr.

C'est le prix des blocs en ciment de Portland qui ne durent que sept ou huit ans, tandis qu'on peut espérer une durée presque indéfinie aux blocs d'asphalte.

M. Edmond Roy croit devoir rappeler qu'en 1850, et au Havre en 1853, M. Bertram, conducteur des ponts et chaussées à Alger, a fabriqué et employé des blocs cimentés avec du bitume ; les expériences faites par lui ont bien réussi, mais n'ayant pu obtenir que son procédé fût employé sur une grande échelle il n'a pas poursuivi ses travaux, M. Roy pense toutefois que c'est à M. Bertram que doit revenir la priorité de l'invention.

M. Malo fait observer qu'il n'avait pas connaissance des travaux de M. Bertram et que les ingénieurs des ports de l'Océan auxquels il a communiqué ses propres idées à ce sujet ne lui ont pas parlé d'expériences antérieures. Dans tous les cas il faut remarquer, dit-il, que pour les blocs qu'il exécute il emploie *du mastic d'asphalte*, c'est-à-dire un ciment énergique, comme on peut s'en convaincre par les échantillons qu'il présente à la Société, et non *du bitume*, qui n'offre aucune résistance aux variations de température.

Enfin, les blocs sont mixtes, c'est-à-dire en maçonnerie ordinaire, revêtue d'une couche de béton d'asphalte, ce qui rend leur prix abordable.

M. Hamers fait observer que, bien que partisan des idées de M. Coignet, il croit que la surface de ses bétons résisterait moins à l'action corrosive des eaux marines que le mastic asphaltique de M. Malo.

Il ajoute que les inventions de MM. Coignet et Malo paraissent néanmoins appelées non à s'exclure réciproquement, mais au contraire à se prêter

un mutuel appui par l'emploi du béton monolithe de M. Coignet, comme noyau, avec mastique d'asphalte comme enveloppe.

M. Malo répond que le béton Coignet dont il reconnaît les propriétés particulières, est, comme tous les bétons de mortier, obtenu par une réaction chimique, et que par conséquent il rentre dans la catégorie de ceux dont les sels seront tôt ou tard décomposés par l'eau de mer.

M. Faure pense que ce qui accélère les ravages de l'eau de mer sur les matières, c'est surtout la présence de l'eau en excès dans les ciments, et en outre la porosité des bétons faits suivant les méthodes ordinaires; ces deux défauts n'existent pas dans les bétons Coignet, et des petits blocs immergés dans des solutions saturées de chlorure de magnésium sont restés inattaqués.

M. Malo croit, en effet, que s'il n'y avait pas excès d'eau dans les bétons ils seraient attaqués moins facilement; mais que néanmoins au bout d'un certain temps l'action destructive doit se produire.

M. Carvallo, ingénieur des ponts-et-chaussées, signale qu'il a publié un mémoire où il constate que les Babyloniens et les Romains ont employé l'asphalte pour les travaux maritimes et qu'on en a retrouvé des vestiges nombreux et bien conservés.

On demande pourquoi du bitume est ajouté à l'asphalte au lieu du brai-sec en poudre, comme on le fait dans la fabrication des agglomérés?

M. Malo répond que l'asphalte ne peut se mettre en fusion sans addition d'une petite quantité de bitume, qui sert de fondant; l'asphalte est un calcaire ne se comportant pas comme la houille, qui est elle-même une espèce de bitume riche en carbone.

M. le Président remercie au nom de la Société M. Malo de son intéressante communication, et l'engage à poursuivre ses travaux.

SÉANCE DU 15 FÉVRIER 1861

Présidence de M. Eugène Flachat

M. le Président annonce que M. Bellangé, professeur à l'école centrale des arts et manufactures, vient de recevoir la décoration d'officier de la Légion d'honneur. Cette nouvelle sera accueillie avec une vive satisfaction par les Ingénieurs.

M. de Blonay, membre de la Société, demande à être renseigné sur les

procédés usités en France et en Angleterre pour préserver les ouvriers de l'inhalation de la poussière des grès.

M. LE PRÉSIDENT fait part du décès de M. Edwards, membre de la Société, emporté d'une manière aussi rapide qu'imprévue par une courte maladie, à l'âge de 61 ans.

La carrière de cet ingénieur a été des mieux remplies et des plus utiles. Il est l'un des fondateurs des ateliers de construction de machines à vapeur établis par la famille Périer à Chaillot; le beau type de Wolf qui subsiste encore dans un grand nombre d'usines a été dessiné par Edwards.

Il construisit les deux premières machines locomotives françaises; l'une d'elles fonctionna longtemps dans les essais du système articulé de M. Arnoux.

Devenu ingénieur de la compagnie du chemin de fer de l'Est, il dirigea la construction du matériel de cette ligne et de ses ateliers,

Il ne voulut alors partager avec personne le fardeau de cette lourde tâche; il ne voulut point grouper autour de lui, comme l'ont fait avec tant de soin et de succès les hommes placés dans la même situation que lui, des chefs de service choisis parmi les ingénieurs jeunes mais instruits et déjà expérimentés, dont le concours est d'autant plus utile que leur instruction est plus étendue et plus générale.

Quel homme eût pu résister? L'activité, le dévouement, la rectitude du jugement, la droiture du caractère, toutes qualités que possédait Edwards, à un très-haut degré, ne suffisent pas pour tenir dans ses mains tous les fils d'un si grand réseau. Il voulait commander une grande armée sans cadre d'officiers.

Sa santé fut rapidement altérée par ces efforts qui substituent une activité fébrile à celle dont la réflexion assure le calme et la puissance.

Il n'a été qu'à demi consolé, par l'estime et l'affection de ses nombreux amis, du chagrin de se voir éloigné de ce vaste champ de travail qu'il avait seul défriché. Ferme mais profondément attristé, cherchant dans de nouveaux travaux à assurer l'avenir de sa famille, il a été enlevé beaucoup trop tôt pour elle et pour ses amis.

Vous apprendrez avec une vive satisfaction que la compagnie du chemin de fer de l'Est a alloué une pension à la veuve d'Edwards.

M. YVERT présente les explications suivantes sur la carte géologique du territoire de Paris, offerte à la Société par M. Delesse, ingénieur des Mines.

La carte géologique que M. Delesse offre à la Société comprend la totalité de la ville de Paris limitée à son ancien mur d'octroi, c'est-à-dire telle qu'elle était avant 1860.

Dans cette carte, M. Delesse a supposé qu'on avait enlevé tous les remblais qui couvrent le sol, ainsi que le terrain de transport.

Les teintes indiquent donc les différents terrains qui se présenteraient alors en affleurements.

Ce qui distingue surtout cette carte de toutes les autres cartes géologiques, c'est que M. Delesse a tracé des courbes de niveau faisant connaître

exactement la forme et la position des différents terrains qui composent le sol de Paris. Ces courbes résultent de l'intersection de la surface supérieure des divers terrains par des plans horizontaux qui sont espacés de 10^m en 10^m.

Pour ne pas avoir de cotes négatives, M. Delesse a pris pour plan de comparaison un plan horizontal passant à 100^m au-dessous du niveau de la basse mer au Havre.

La couleur de chaque courbe est la même que celle du terrain sur la surface duquel elle est tracée. On peut donc, en suivant toutes les courbes de même couleur, se représenter facilement la surface supérieure du terrain auquel elles correspondent.

Il s'en suit que par une méthode très-simple, indiquée dans la légende qui accompagne cette carte, on peut trouver à quelle profondeur on rencontrera telle ou telle nature de terrain en donnant un coup de sonde, en un point donné de la surface.

On peut aussi par le même procédé déterminer en chaque point l'épaisseur des divers terrains.

Pour tracer toutes les courbes, M. Delesse s'est utilement servi de tous les sondages faits par MM. Degousée et Mulot, de toutes les fouilles creusées pour fonder les bâtiments, les égouts, et les travaux d'art, ainsi que du foncement de tous les puits.

Chacun de ces divers points est indiqué sur la carte et est accompagné de lettres et de chiffres dont la couleur indique la nature du terrain rencontré, et la profondeur à laquelle il a été atteint.

En outre, une série de courbes tracées en noir, et qui sont l'intersection de plans horizontaux espacés de 5^m en 5^m avec la surface *inférieure* du terrain de transport, donnera une idée très-nette de la surface que l'on verrait en enlevant partout ce terrain de transport, ainsi que les remblais qu'il supporte.

En examinant ces courbes, on voit que les points les plus bas de cette surface *inférieure* du terrain de transport sont à la cote 120^m au-dessus du plan de comparaison pris par M. Delesse, et qu'ils forment dans Paris un talweg différent de celui de la Seine. Cette vallée souterraine commence près la place de la Bastille, et suit la direction des rues basses qui longent les boulevards Beaumarchais et du Temple, puis celle des rues du Château-d'Eau, des Petites-Ecuries, Richer, de la Victoire, St-Lazare, de la Pépinière et Marbœuf, pour rentrer dans celle qui se trouve sous la Seine entre le pont de l'Alma et celui d'Iéna. C'était le parcours de l'ancien ruisseau de Ménilmontant, qui cependant ne commençait qu'à la hauteur de la rue du Temple.

Un mamelon à la cote 125^m sépare cette vallée affluente de celle qui se trouve sous le lit de la Seine, et dont le talweg est plus élevé que celui de la vallée affluente.

Une autre vallée affluente, à la cote 130^m, et qui descend à 125^m, indique aussi le parcours de la Bièvre.

Sauf la différence entre celle du ruisseau de Ménilmontant et celle de la

Seine, la surface inférieure du terrain de transport suit à peu de chose près la configuration du sol apparent.

Dans les trois coupes qui accompagnent la carte et qui vont :

L'une de la barrière de Neuilly à celle de Vincennes;

L'autre de la barrière du Roule à celle de la Motte-Piquet ;

Et la troisième de la barrière de Charenton à celle d'Aunay, des courbes bleues indiquent la hauteur des eaux à l'étiage dans les puits rencontrés par ces coupes. Les puits sont indiqués par des points accompagnés de cotes bleues donnant la hauteur de l'eau en ces points.

Il faut remarquer aussi le travail d'exécution de la carte. C'est un des plus beaux et des plus grands travaux de lithochromie qui aient encore été faits.

Le tirage en couleur, qui aurait dû être répété autant de fois qu'il y a de couleurs, a été simplifié au moyen de combinaisons dans des couleurs employées simultanément, ce qui a réduit à 4 le nombre des tirages qui, sans cette ingénieuse combinaison, aurait dû être de 8. Bien entendu qu'il a fallu un tirage particulier pour les courbes de chaque couleur.

Cette carte offre donc sous tous les rapports un travail très-remarquable et nous devons particulièrement à M. Delesse tous nos remerciements pour l'offre qu'il nous en fait.

M. LE PRÉSIDENT invite M. Yvert à présenter à M. Delesse les remerciements de la Société. La carte de cet ingénieur sera exposée dans le local de la bibliothèque, de manière à en faciliter l'étude.

M. LOVE lit un mémoire *sur les résistances comparées des piliers en fer et en acier pour servir au calcul des tiges de pistons, bielles, etc.*

LE PRÉSIDENT appelle l'attention de la Société sur les travaux de M. Love; il sollicite le concours de ses membres. Il appartient à une Société d'ingénieurs de recueillir et de mettre en ordre les données des expérimentateurs sur la résistance des matériaux. La somme d'empirisme introduite jusqu'à ce jour par les coefficients dans les formules d'emploi des matériaux, et les modifications que ces termes subissent, à mesure que des expériences déterminent plus exactement les limites d'élasticité et celles de rupture, éveillent un intérêt plus vif que jamais. Autant il faut être prudent avant de donner aux résultats d'expérience une valeur absolue, autant il importe de multiplier ces résultats, de les classer, d'en chercher la loi, et sous ce rapport le travail persévérant de M. Love est digne d'encouragements.

M. LOVE explique comment il se fait qu'il nous a manqué jusqu'à ce jour des expériences sur l'acier d'où l'on pût tirer une formule de résistance. Il a tourné la difficulté en expérimentant sur des piliers aux extrémités arrondies, et en réduisant le nombre de piliers à expérimenter à trois; ce qui, d'une part, d'après l'exemple des autres matériaux suffit, à la rigueur, pour tracer une courbe de résistances dont l'équation est toujours facile à déterminer, et d'autre part, pour embrasser tous les cas pratiques qui peuvent se rencontrer. Il exprime l'espoir que la simplicité et le caractère peu dispendieux de la méthode qu'il a suivie entraîneront les ingénieurs et les industriels à multiplier ces expériences de manière à confirmer ou modifier la loi qu'il a trouvée pour

un acier spécial, et à nous mettre bientôt en possession d'un grand nombre d'expériences capables de nous permettre d'employer l'acier à la compression avec avantage et sécurité.

M. Love donne ensuite le résultat de ses expériences d'où il a déduit, par la méthode exposée par lui dès 1851, dans un mémoire qui fait partie des annales de la Société, la formule suivante pour un pilier d'acier aux extrémités arrondies

$$P = CS \sqrt{\frac{1.32}{\frac{L}{D} - 5\ 50}}$$

P indiquant le poids sous lequel le pilier a cédé ; C la résistance que l'acier présente sous une longueur égale à cinq fois et demie son diamètre, et qui a été dénommée résistance maximum à la compression, laquelle est égale la résistance du métal à la traction ; L, la longueur du solide ; D son diamètre ; et S la section du pilier.

M. Faure reconnaît l'utilité des recherches de M. Love, appliquées aux piliers en acier, mais il tient à dire que la théorie n'est pas aussi impuissante qu'on l'a voulu dire. Il rappelle la relation établie par M. Bellanger :

$$n\pi = l \sqrt{\frac{P}{EI}} \quad P = K \frac{D4}{l2}$$

en rappelant qu'elle exprime que le solide comprimé et fléchi reste fléchi sous la charge P, sans qu'on puisse calculer la flèche dont l'expression contient une constante arbitraire et nécessairement indéterminée.

Il rappelle que cette relation ne diffère de celle donnée par M. Hodgkinson et déduite de l'expérience, que par des exposants fractionnaires 3,5 et 1,7 substitués aux exposants entiers 4 et 2. Mais il y a lieu, il est nécessaire même de demander à l'expérience la valeur du coefficient numérique applicable aux diverses qualités d'aciers et de provenances diverses. Il pense en outre que ces expériences pourraient, toutes délicates, toutes difficiles qu'elles soient à ce point de vue, déterminer les flèches que l'on peut atteindre sans danger de rupture ;

Qu'ainsi on peut arriver à une formule parfaitement suffisante pour l'appliquer au calcul des pièces comprimées telles que piliers, colonnes, bielles et tiges ;

Qu'il faut donc éviter d'employer pour, calculer les tiges et les bielles, la relation $P = E\Omega \frac{\Delta L}{L}$;

Ou bien $P = K\Omega$ applicable aux seuls efforts de traction, et si malheureusement indiquée dans divers ouvrages, formule qu'on ne peut appliquer, plus ou moins sûrement, qu'à la condition d'accroître arbitrairement le coefficient numérique K.

M. Love ne partage pas cette opinion (1), et fait d'ailleurs remarquer que des observations pareilles à celles que demande M. Faure sont inabordables par les praticiens, tant elles exigent de soins, tant elles présentent d'incertitude. Il continue ensuite la lecture de son mémoire. S'appuyant sur des expériences de M. Hodgkinson sur le fer et la fonte, d'où il a déduit la formule générale qui exprime le rapport des résistances des piliers à extrémités carrées, et de ceux à extrémités arrondies, ainsi que sur des expériences faites par le même expérimentateur sur des piliers d'acier du Staffordshire, qui prouvent que la loi est également applicable à l'acier, il en tire, par le même procédé, la formule suivante exprimant la résistance d'un pilier d'acier à extrémités plates

$$P = CS \sqrt{\frac{28}{\frac{L}{D} + 35}}$$

Il donne ensuite les formules relatives aux piliers *carrés* du même métal à extrémités plates et à extrémités arrondies; et rappelle pour les comparaisons qu'il se propose d'établir, entre les piliers en acier et ceux en fer, les formules relatives à ce dernier métal; à propos de ces dernières formules, il rapporte le fait intéressant qu'ayant déterminé récemment la loi générale de la résistance des piliers en fer à extrémités arrondies, déduite des expériences de M. Hodgkinson pour des piliers dont le rapport de la longueur au diamètre variait de 10 à 120, il appliqua cette formule à une longue série d'expériences sur des piliers en fer faites par Duleau, publiées en 1820, et que cette formule s'appliqua à ces anciennes expériences avec l'approximation la plus satisfaisante, bien que, dans les piliers expérimentés par l'ingénieur français, le rapport de la longueur au diamètre variât de 100 à 200 fois le diamètre, rapport qui dépasse de beaucoup tous ceux que l'on peut rencontrer en pratique.

M. Le Président invite M. Love à présenter à la prochaine séance quelques développements sur les expériences de M. Duleau, et sur la comparaison des résultats qu'il a obtenus avec ceux des expérimentateurs qui l'ont suivi. M. Duleau, ingénieur des ponts et chaussées, a été par ses travaux un des hommes les plus utiles de son époque, et il est toujours opportun de rendre aux œuvres d'esprits aussi consciencieux le lustre que le temps efface trop vite.

M. Love passe ensuite aux applications ; il critique un passage du *Guide du constructeur* de machines locomotives dans lequel il trouve, 1° une tendance à revenir aux moyennes générales de résistance, tendance combattue, avec raison, par les auteurs mêmes du *Guide* lors des discussions, sur les ponts suspendus, les chaudières et les machines; 2° l'indication d'un mode défectueux et vague pour calculer le diamètre d'une tige de piston, et qui consiste à déterminer la résistance à la traction de cette tige avec

(1) Il reviendra sur cette question dans la prochaine séance.

un coefficient de sécurité de 6 à 7, et à augmenter le diamètre obtenu de la sorte de 25 à 50 p. 0/0. Il fait voir que la tige de piston résiste à la compression, et qu'elle doit avoir les dimensions résultant de son minimum de résistance, qui dans le cas actuel se trouve être justement la résistance à la compression. Il rappelle ensuite que des expériences, faites en Angleterre sur une grande échelle, ont fait voir que, pour qu'un solide résistât indéfiniment à sa charge normale sans altération, il fallait, si cette charge était statique, qu'elle ne dépassât pas le tiers de sa résistance à la rupture ; de $\frac{1}{6}$ environ, si elle était dynamique. C'est ce dernier coefficient qu'il convient d'appliquer au cas de la tige de piston. Mais M. Love se demande si pour tenir compte de l'usure de la tige, et parer à la nécessité de la remettre sur le tour dans le cas où elle viendrait à être rayée, il ne conviendrait pas d'augmenter ce coefficient. Il le conseille et fait une application à la tige dont il est question dans le *Guide du constructeur* en prenant 10 pour coefficient de sécurité.

En réponse à la critique dont un calcul indiqué dans le *Guide du mécanicien* vient d'être l'objet, on répond qu'en effet il est rationnel de faire intervenir, dans le calcul de la résistance d'une tige soumise par ses deux extrémités à des efforts alternatifs de traction et de compression égaux, la formule de compression dans laquelle entre en pareil cas le rapport de la section à la longueur.

L'exemple de l'application du calcul des résistances est d'ailleurs mal choisi dans l'espèce, puisqu'après avoir déterminé la dimension théorique M. Love croit devoir la décupler. Dans une expression finale où la théorie donne un et où l'expérience donne dix, il ne faut faire l'apologie ni attribuer une valeur absolue au calcul.

Dans une tige de piston le rapport de la section à la longueur varie constamment, puisque la tige est soutenue par le *stuffen box ;* mais les causes de déviation et de flexion de l'axe de la tige, tenant aux déformations des pièces du mouvement ne peuvent être déterminées par le calcul ; de là le rapport que l'expérience établit entre la dimension usitée et celle qui est déterminée par le calcul.

On signale également le danger d'introduire, à la suite d'expériences restreintes à trois fragments d'acier, un coefficient d'écrasement nouveau.

M. Love répond qu'il n'a pas élevé une prétention pareille à celle qui lui est reprochée, et relit le passage de son mémoire, où il appelle au contraire l'attention d'une manière spéciale sur ce point, que ses expériences comme sa formule ne s'appliquent qu'à des aciers présentant une résistance à la traction de 7600 kilogrammes, et où il insiste d'une manière toute particulière, pour que les expériences semblables aux siennes soient faites sur des aciers de toutes les provenances, expériences rendues plus simples et plus faciles par la méthode qu'il a employée ; que, quant au degré de certitude présenté par ses expériences, il est évident qu'il serait plus grand si elles étaient plus nombreuses, mais que le sacrifice demandé aux industriels, pour des expériences faites sur une plus grande échelle, est difficile à obtenir que

d'ailleurs, il importe de remarquer que les résultats obtenus, combinés avec la résistance maximum à la compression offrant entre eux une concordance accusée par une courbe régulière et une formule rentrant dans la physionomie générale de celles déterminées pour les piliers d'autres métaux, excluent toute idée qu'une anomalie se soit glissée dans les expériences relatées (1), et que la formule qui en a été déduite soit inexacte. En ce qui concerne le coefficient proposé, M. Love ne peut admettre qu'il donne à sa formule le caractère vague et indécis d une tige de piston déterminée de sentiment, comme cela se fait généralement. Dans ce dernier cas, on ne sait jamais ce qu'on fait, et les accidents n'apprennent rien sur la limite à laquelle on peut faire descendre un coefficient de sécurité. Il ajoute qu'il est inexact de dire que sa manière de procéder consiste, après avoir déterminé la dimension théorique, à la déculper dans une expression finale où la théorie donne 1 et où l'expérience donne 10. Il n'est pas question de théorie dans son travail. C'est par expérience que M. Love arrive à déterminer les dimensions sous lesquelles un pilier céderait. C'est par expérience qu'a été déterminé le coefficient 6 au moyen duquel le pilier peut résister indéfiniment à des charges dynamiques. D'ailleurs celui proposé par M. Love peut être ramené à celui-là, si l'on repousse, comme inutile, la prévision d'avoir à tenir compte de l'usure, et de la faculté de remettre la pièce sur tour.

M. La Salle exprime la crainte que la formule de M. Love ne satisfasse pas d'une manière générale à tous les cas de la pratique, parce qu'elle admet comme base une résistance absolue, qui n'est ni un maximum, ni un minimum, et qu'une moyenne ne peut s'appliquer indistinctement à tous les besoins. Lorsqu'il s'agit du fer, la résistance varie suivant la qualité du métal, dans des limites assez restreintes pour qu'on puisse, sans trop d'inconvénients, adopter une moyenne; d'autant mieux que les coefficients pratiques réduisent les résistances réelles à une faible portion de la résistance absolue; mais pour l'acier la résistance absolue, quoique dépendante aussi de la qualité ou de la pureté de la matière, augmente ou diminue, toutes choses égales d'ailleurs, suivant que le métal est plus ou moins carburé. En outre, à mesure que la résistance absolue augmente, la fragilité accroit aussi dans les mêmes proportions; il faut donc déjà distinguer les cas où les solides soumis à des efforts de traction ou de compression sont sollicités par des charges permanentes au repos, de ceux où ces mêmes solides sont en même temps soumis à des chocs ou secousses capables d'éprouver leur fragilité.

Enfin, l'acier ne se laisse pas travailler, indistinctement, avec la même docilité quel que soit son degré de vivacité; il faut par conséquent tenir compte aussi de cette circonstance et proportionner son degré de carburation et par suite sa résistance absolue au travail qu'il est appelé à subir, pour recevoir

(1) Le nombre d'expériences a été en réalité de quatre. Mais M. Love a rejeté l'une d'elles qui était évidemment une anomalie, due à un défaut d'observation. Il en est du reste rendu compte dans le mémoire.

les formes plus ou moins difficiles à réaliser auxquelles il doit être amené; c'est le cas par exemple des tiges de piston qui exigent des aciers doux, faciles à forger.

La résistance absolue de l'acier de première qualité peut varier de 50 à 100 kil. et même être portée, par le secours de la trempe, à 120 kil. Les degrés de carburation qui correspondent à ces degrés de résistance sont soumis aux exigences des cas variés de l'application. On ne saurait donc admettre une résistance unique sans tomber dans des exagérations ou des impossibilités pratiques, et il importe de fixer l'attention sur ce point, que M. Love n'a pas indiqué.

M. Love reconnaît que l'acier qu'il a pris pour type présente en effet une résistance exceptionnelle, mais qu'il n'y a pas de mal à pousser les fabricants à atteindre ce résultat dont M. Gouvy s'est déjà beaucoup rapproché, ainsi que cela ressort des expériences de M. Tembrinck rapportées par M. Love dans son ouvrage (page 176). Mais il fait remarquer qu'il n'a pas donné cette résistance comme étant d'une application générale à tous les cas pratiques. Tout ce qu'il a dit dans son mémoire comme tout ce qu'il a écrit sur ce sujet proteste contre cette interprétation. Personne ne s'est élevé plus que lui contre le préjugé des moyennes générales et principalement dans une brochure publiée en 1859 et que M. le ministre des travaux publics a soumis à l'examen d'une commission (1). Il met deux cents exemplaires de cette brochure à la disposition de la Société. En ce qui concerne l'usage de sa formule, M. Love croit qu'elle s'appliquera à tous les aciers, en prenant seulement la précaution d'y substituer à la place de C la valeur de résistance maximum à la compression de l'acier dont on dispose, laquelle doit être égale à sa résistance à la traction.

M. Limet appelle l'attention de M. Love sur les modifications de l'état moléculaire de l'acier, qui résultent de sa mise en œuvre, c'est-à-dire des opérations de forge, trempe et recuit.

Malgré son homogénéité qui le rend supérieur au fer et à la fonte, l'acier en raison de la propriété remarquable qu'il possède de se tremper, a souvent donné lieu à des accidents graves, des ruptures, surtout lorsqu'il s'agit de grosses pièces.

M. Limet est convaincu qu'il ne faut pas en accuser la nature même de l'acier, mais bien les moyens imparfaits employés pour sa mise en œuvre.

Les modifications ou mieux les différences d'état moléculaire étant toujours et d'une manière absolue dues à l'inégalité des effets calorifiques de chauffage ou de refroidissement, il faut en tenir successivement compte. Or, s'il est facile de chauffer et de refroidir également des pièces de très-petites dimensions, cela devient, sinon impossible, au moins très-difficile

(1) Cette commission se compose de M. Marrot, inspecteur général des mines.
M. Couche, ingénieur en chef des mines, professeur à l'école des mines.
M. Gremer, d° d°

lorsqu'il s'agit de pièces ayant seulement quelques centimètres d'épaisseur.

L'importance de cette objection varie sans doute avec la nature des aciers, c'est-à-dire avec leur degré de carburation, ainsi que l'a dit M. La Salle, mais elle subsiste toujours.

M. La Salle répond que l'opinion de M. Limet ne peut s'appliquer à l'acier fondu dont l'homogénéité est connue et que, sous ce rapport, l'acier doit présenter des écarts moindres que le fer et la fonte. Il faut d'ailleurs savoir faire un choix judicieux de la qualité spéciale, au point de vue de la dureté qu'il convient le mieux d'appliquer à chaque cas particulier; et lorsqu'il s'agit de pièces forgées, on peut toujours remédier, dans une certaine mesure, aux inégalités résultant du travail, par un recuit convenablement ménagé.

L'objection de M. Limet pourrait être fondée s'il était question de pièces trempées, mais c'est rarement le cas; et l'acier pris à son état normal présente par sa plus grande résistance et par son élacticité plus développée d'assez grands avantages, pour qu'il puisse être favorablement substitué au fer dans une infinité de circonstances.

Si l'on a éprouvé quelquefois des mécomptes, cela a tenu surtout à ce que les aciers manquaient de qualité et à ce qu'on ne veut, ou qu'on ne peut pas toujours payer assez cher, pour permettre au fabricant d'y trouver son compte, en fournissant des qualités irréprochables.

MM. Guillet, Gérondeau, Carpentier, et de Brunet ont été reçus membres de la Société.

SÉANCE DU 1er MARS 1861

Présidence de M. Eugène Flachat.

M. Rouart donne lecture d'une note sur des appareils propres à produire le froid.

Les divers appareils employés dans l'industrie reposent sur ce principe commun : Utiliser l'absorption de chaleur nécessaire pour le changement d'état d'un liquide qui se vaporise.

Le plus ancien n'est que la réalisation industrielle de l'expérience de Leslie, qui, le premier, a fait de la glace au moyen de la vaporisation. Quoi qu'il en soit, on sait toutes les difficultés à vaincre pour faire passer les

faits, du laboratoire à l'industrie; elles ont été vaincues; car on a pu construire des appareils qui, en marche journalière, ne perdent que quelques millimètres de vide; l'énonciation de ce résultat fait pressentir une série de moyens ingénieux pour empêcher les filtrations d'air.

Ces appareils produisaient avec un cheval vapeur 30 kil. de glace avec de l'eau supposée introduite à 20° au-dessus de zéro.

Les nouveaux appareils donnent une solution beaucoup plus originale. On emploie aujourd'hui, pour produire du froid, une solution aqueuse d'ammoniac. Ce gaz jouit, comme chacun sait, de la double propriété d'être absorbé par l'eau, dans des proportions considérables, et de se liquéfier sous une pression de 7 à 8 atmosphères aux températures ordinaires.

On a su utiliser la coincidence de ces deux effets pour produire une transformation directe de calories positives en calories négatives.

L'appareil dont on se sert est dans son essence aussi élémentaire que possible. Un gros réservoir contenant la solution ammoniacale est en communication par un tube avec un réservoir de plus petite dimension. Le tout est en fer forgé. Le gros réservoir contenant la solution est mis sur le feu; le petit dans l'eau froide; sous l'influence de la chaleur, le gaz ammoniac abandonne l'eau, se rend dans le petit réservoir, se condense sous sa propre pression et sous l'influence du refroidissement. Lorsqu'on a obtenu la condensation de presque tout l'ammoniac, c'est-à-dire lorsque la température est arrivée à 130 ou 140°, on place le gros réservoir dans l'eau froide, et autour du petit les substances sur lesquelles on veut agir. L'affinité que la chaleur avait détruite va renaître par le refroidissement de l'eau, elle est assez énergique pour forcer le liquide obtenu à reprendre l'état gazeux, et l'évaporation très-active qui en résulte produit de très-grands froids.

Cet appareil est employé à son état rudimentaire, pour les usages domestiques. Son effet est intermittent.

L'appareil a été depuis rendu continu, de manière à perdre le moins possible de chaleur. On en attend suivant ses proportions une production de 10, 15 ou même de 20 kil. de glace par kil. de houille. Ce serait un rendement de plus de 50 p. 0/0.

On obtiendrait des températures de 40 et même 60° au-dessous de zéro; ce qui permettrait de congeler le mercure. Il résulte d'un très-grand nombre d'expériences, dont les principales ont été faites au Collége de France par M. Balard, à la Sorbonne par M. Despretz, à l'Ecole Centrale par M. Daniel, etc.

Cet appareil permet de s'affranchir des caprices atmosphériques; parmi ses applications, M. Rouart cite, comme exemple de cristallisation continue, la fabrication de sulfate de soude d'après les procédés de M. Balard; comme exemple de distillation par le froid, la distillation de l'eau de mer, qui peut se faire plus économiquement que par la chaleur; enfin, comme question d'hygiène, l'application possible au refroidissement des établissements publics.

On se rendra facilement compte de ces diverses applications, si l'on re-

marque que la distillation par vaporisation d'un kilog. d'eau, introduite à 15° dans l'appareil, exige pour passer de 15° à 100° . 85 » calories
Pour se résoudre en vapeur. . . . . 537 » »
Pour chauffer de 15° à 100° environ 1/4 de kilog. de résidu. . . . . 21,25 »

Soit. . . . 643,25 calories.

La distillation par congélation d'eau placée dans les mêmes conditions dépense .

Pour amener l'eau de + 15 à — 5°. . . . . 20 » calories
Pour produire la congélation. . . . . 79,25 »
Pour refroidir 1/4 de kilog. de résidu de + 15° à — 5 3,75 »

Soit. . . . 103,00 »

On voit que le nombre d'unités de chaleur exigé par le premier mode d'opérer représente plus de six fois celui qui est employé par le second, aussi peut-on espérer réaliser une très-grande économie.

M. La Salle lit ensuite une note sur le procédé Bessemer, dont voici le résumé.

Les divers documents qui ont été récemment communiqués à la Société, sont de nature à exciter au plus haut degré l'intérêt, car s'il est vrai que ce procédé réalise les espérances qu'il avait fait concevoir à son origine, s'il faut croire qu'il soit arrivé à une solution pratique, il constitue sans contredit l'une des découvertes les plus importantes de la métallurgie moderne.

Malgré les critiques et les objections qui se sont produites à la Société des Ingénieurs civils de Londres, et qui ne sont du reste que la répétition de celles qui ont de tout temps été opposées à l'inventeur, on ne peut plus se refuser aujourd'hui d'admettre la possibilité de produire économiquement à l'aide du procédé Bessemer des fers et aciers de premier choix.

Les expériences de Woolwich ne sauraient être suspectées; elles démontrent que, sous le rapport de la résistance, on a pu atteindre les limites les plus élevées que les meilleurs produits connus soient susceptibles de donner; que même, sans avoir recours au martelage ou au laminage, on peut, pour des objets coulés en moule par exemple, déjà compter sur des résistances au moins égales à celles des fers et aciers les plus communément employés dans l'industrie et en tous cas de beaucoup supérieurs aux meilleures fontes. Bessemer affirme de son côté que les déchets n'excèdent pas 20 à 22 p. 0/0 pour le fer, 13 à 15 p. 0/0 pour l'acier, et qu'il a trouvé dans le ganister de Scheffield un produit réfractaire parfaitement capable de résister.

L'Angleterre et la Suède ont déjà fourni, à l'heure qu'il est, des exemples d'une production régulière et suivie. Il y a lieu de s'étonner que la France soit restée en arrière et qu'aucun de ses expérimentateurs ne soit parvenu jusqu'ici à pouvoir proclamer un succès.

Cette circonstance ferait supposer qu'on n'est point fixé encore sur la meilleure voie à suivre, ou que les conditions à remplir n'ont pas été suffi-

samment mises en évidence pour que des expériences puissent être tentées par tout le monde, avec la certitude de réussir.

M. La Salle s'est précisément proposé pour but d'étudier, au point de vue théorique, les principes qui forment la base du procédé, et de chercher à en déduire les conditions pratiques à réaliser, pour arriver le plus promptement et le plus sûrement possible à des résultats industriels.

M. Bessemer paraît aujourd'hui rejeter la cause de l'insuccès des premiers essais, sur les imperfections chimiques des fontes employées; on constate notamment que celles qui contiennent du soufre ou du phosphore ne sont point susceptibles d'être avantageusement affinées par le nouveau procédé. On a reconnu, en outre, qu'on n'arrivait à aucun résultat en opérant sur de trop faibles masses, et que, pour obtenir une fluidité parfaite, il fallait traiter environ une tonne de fonte à la fois.

Malheureusement, là se bornent toutes les données expérimentales qui pourraient mettre sur la voie d'une bonne discussion théorique du système.

M. La Salle veut néanmoins essayer cette discussion.

Selon lui, dans tout affinage le réactif essentiel c'est l'oxigène, dont le rôle, basé sur des différences d'affinité, est de transformer le carbone en gaz oxide de carbone qui se dégage, et les corps étrangers en oxides que les scories, agissant comme réactifs accessoires, emportent sous forme de silicates fusibles.

Mais l'oxigène agit tout aussi bien sur le fer que sur les autres composants de la fonte; seulement, comme il a plus d'affinité pour le carbone, il se porte de préférence sur ce dernier, et tant que le métal en contient encore l'oxide de fer est réduit à l'état métallique au fur et à mesure qu'il se forme. Le silicium et en général les métaux terreux se conduisent dans la fonte liquide comme le carbone, ils paraissent avoir autant d'affinité pour l'oxigène, et ils quittent en conséquence la fonte en même temps.

Eu égard aux trois composants, fer, carbone et silicium, la fonte ne pouvant plus être considérée que comme une dissolution réciproque ou un alliage de ces trois corps, il suffirait en principe qu'elle fût liquide et qu'elle fût attaquée en un point par l'oxigène, pour que l'affinage eût lieu; car en raison de la mobilité atomique du carbone et du silicium liquides dans la fonte fluide, il faut supposer qu'au fur et à mesure que la dissolution s'appauvrit au point attaqué les parties avoisinantes laissent affluer successivement de proche en proche les composants dissous, de manière à maintenir toujours l'homogénéité de la saturation dans un état d'équilibre.

Mais il est clair que, si la réaction n'a lieu que sur un point ou sur une surface de peu d'étendue, elle sera lente et elle durera tout le temps que mettra l'oxigène à venir présenter tous ses atômes au contact de ce point ou de cette surface. Si en outre l'oxigène se présente en trop grande abondance pour que le carbone et le silicium aient le temps d'arriver de leur côté dans des proportions convenables, l'oxidation du métal gagne du terrain et finit par l'emporter.

On comprend, dès lors, que la seule difficulté pratique de l'affinage est dans la manière d'opérer mécaniquement le mélange intime des parties, car ce

mélange n'a d'autre but que de multiplier les contacts du réactif afin d'accélérer la marche de l'opération.

M. La Salle montre à cet égard combien les méthodes actuelles sont dispendieuses et imparfaites ; il examine les conditions de l'affinage dans les feux d'affinerie et dans les fours à puddler ; il indique par quelles raisons elles ne peuvent procurer qu'un affinage incomplet, auquel il faut remédier par des ressuages, et des produits d'un volume réduit qu'il faut réunir plus tard par des corroyages, deux causes qui provoquent des déchets considérables.

En outre, comme les réactions exigent le concours d'une température élevée, il faut brûler pendant tout le temps qu'elles doivent durer un combustible dont la dépense entre en ligne de compte.

Le procédé Bessemer, au contraire, tout en multipliant extraordinairement les surfaces en contact, par la division de l'air en un grand nombre de jets, provoque en même temps un violent bouillonnement qui mélange sans cesse les produits de la réaction. Il est donc des plus rationnels, eu égard au carbone et au silicium, et doit assurer la complète élimination de ces deux corps simples dans un temps très-court.

Le soufre et le phosphore, au contraire, se combinent avec le fer ; les sulfures et les phosphures existent à la vérité à l'état de dissolution dans la fonte liquide, et devraient à cet égard, quant à l'appauvrissement progressif de la dissolution, se conduire comme le carbone et le silicium; mais l'oxigène ne peut agir sur les corps combinés avec la même énergie que sur les corps libres en dissolution; il arrive donc que, tant que la fonte retient du carbone et du silicium, il se porte de préférence sur ces derniers ; qu'il ne peut agir aussi efficacement sur les sulfures et phosphures ; et que, pour les évacuer complétement, il faudrait pouvoir poursuivre l'oxidation générale après la complète décarburation. Cela ne se pourrait qu'à la condition d'oxider le fer lui-même, dans de fortes proportions, et il n'existe pas, comme dans le raffinage du cuivre, par exemple, de moyen pratique et économique d'enlever l'oxigène après la purification du métal.

M. La Salle indique ensuite comment on arrive, dans les méthodes d'affinage actuelles, à corriger jusqu'à un certain point les fers vicieux en retardant la décarburation. Il constate que les mêmes moyens ne peuvent être employés dans la méthode Bessemer, mais il trouve que dans cette dernière le mode de réaction présente des conditions si parfaites, qu'il serait prématuré de proscrire, d'une manière absolue, les fontes sulfureuses et phosphoreuses avant que l'expérience se soit plus fortement prononcée. Il dit du reste que, dans les procédés ordinaires, c'est l'oxigène de l'air, l'oxigène libre, qui chasse le soufre et le phosphore, et non l'oxigène combiné des oxides des scories, parce que ce dernier ne peut obéir qu'à une affinité plus grande, et ne cède par conséquent qu'au carbone qui, étant lui-même libre, se trouve dans les meilleures conditions pour l'enlever au métal.

M. La Salle passe ensuite à l'examen des conditions physiques qui régissent l'opération, et il établit que la rapidité de sa marche est la condition indispensable de la réussite, parce que, d'elle, dépend la possibilité de

réaliser l'élévation de température qu'il est nécessaire que le métal atteigne, pour que l'opération puisse être conduite à bonne fin.

L'élévation de température est due ici uniquement au calorique engendré par les réactions chimiques, la combustion du carbone et du silicium et l'oxidation du fer des scories. Ces diverses réactions sont capables de développer beaucoup de chaleur, mais il est clair que le calorique engendré n'est pas absorbé seulement et uniquement par le métal, mais bien aussi par la masse de l'appareil, par les gaz qui s'échappent de son col et par celles des réactions chimiques qui empruntent du calorique, au lieu d'en engendrer.

Il faut donc tenir compte de la durée de l'opération, de la quantité d'air injecté, de la masse et de la forme extérieure de l'appareil, et enfin éviter autant que possible les réactions absorbantes. Car si le calorique ne peut être emmagasiné et retenu par le métal en quantité suffisante, celui-ci ne doit pas tarder à s'épaissir, au fur et à mesure qu'il s'appauvrit en carbone; l'air ne s'y mélange plus intimement, il se fraie néanmoins un passage par des cheminées qu'il ouvre dans la masse épaissie; la mobilité du carbone n'est plus suffisante pour lui permettre d'affluer avec diligence là où se produit l'oxidation préliminaire de la réduction, et comme en fin de compte il faut faire la coulée avant que le métal soit tout à fait pris, on n'obtient qu'un affinage incomplet, une masse fonteuse hétérogène, difficile à couler, mélangée de scories et de bulles de gaz emprisonnées; on réalise, en un mot, toutes les conditions d'un mauvais puddlage, sans pouvoir y remédier, comme dans le four à puddler, par un vigoureux coup de feu et par un brassage énergique.

Le contraire a lieu si le soufflage est fait avec puissance et rapidité.

On pourra objecter que les réactions chimiques sont sensiblement les mêmes que celles qui ont lieu dans les procédés ordinaires, où elles n'élèvent cependant pas sensiblement la température; mais il observe que les réactions provoquées par les crasses absorbent du calorique au lieu d'en engendrer, parce que l'oxigène y est déjà combiné; il faut donc, pour le séparer, qu'une double décomposition s'opère; il redonne, à la vérité, immédiatement après, par sa combinaison avec le carbone et les autres composants libres qu'il attaque, de la chaleur; mais il se peut qu'il en rende moins qu'il en a pris, et en tous cas la lenteur de marche favorise des déperditions que le combustible des grilles ne suffit pas toujours à combler.

Le puddlage de certaines fontes blanches offre d'ailleurs l'exemple d'une élévation de température très-sensible, et prouve, de la manière la plus évidente, qu'on peut l'atteindre dans le procédé Bessemer, sans que la combustion du fer en soit la cause nécessaire. Car tout l'oxigène introduit arrive à l'état libre, toutes ses combinaisons directes engendrent du calorique; et, si l'oxide préalable en absorbe à son tour, il ne peut en reprendre que juste ce qu'il en a donné.

La fonte grise est en fusion à 1100 ou 1200°; le fer n'entre lui-même en fusion qu'entre 1500 et 1600°. Pour l'amener à une fluidité convenable, il faut peut-être élever sa température à 1800 ou 2000 degrés. Si

donc l'opération était conduite de manière à n'obtenir au moment de la coulée que 15 à 1600°, on rencontrerait tous les inconvénients signalés.

Le succès ou l'insuccès de l'opération pourront donc dépendre de ce que le métal aura pu emmagasiner et retenir le calorique correspondant à 200° de plus ou de moins, soit 2500 calories environ p. 0/0 kil. de métal; et pour réaliser une élévation de température de 600° par exemple, le métal n'aura besoin d'absorber que 7200 calories p. 0/0 kil. Cette quantité n'est en réalité qu'une fraction minime de la quantité totale du calorique engendré par les réactions. Il n'est donc pas du tout nécessaire de brûler du fer comme combustible pour en fournir assez.

Cependant les meilleures expériences de Bessemer ont donné plus de déchet que ne le comporte l'épuration du métal. On observe en effet une gerbe d'étincelles qui remplit les gaz à leur sortie de l'appareil. Mais il est à remarquer que cette combustion ne cède point le calorique au métal, puisqu'elle s'opère au dehors. Elle ne concourt donc point à l'élévation de température.

M. La Salle entre ensuite dans les considérations relatives à la forme et à la masse de l'appareil. Il en conclut qu'il importe d'opérer sur des quantités de fonte importantes et que la forme, ou l'enveloppe extérieure, doit laisser le moins de prise possible au rayonnement. Il insiste en outre sur la nécessité de diviser l'air le plus possible, de le brûler complétement pour en réduire la quantité, et pour que les gaz produits par la réaction emportent moins de calorique et ne soient plus oxidants.

Il recommande de ne tenter les expériences que muni de machines soufflantes suffisamment puissantes, d'appareils bien combinés; et il lui semble que, pour peu qu'on dispose de fontes de bonne qualité, il est presque impossible de ne pas arriver promptement à des résultats satisfaisants.

Dans la suite de sa note, M. La Salle indique les tentatives qui ont été faites pour substituer à l'air d'autres réactifs, et il explique pourquoi ces tentatives n'ont pas eu et ne pouvaient avoir de succès. Enfin il examine les conditions à rechercher dans les fontes pour obtenir le plus sûrement de bons résultats. Il indique les moyens qui selon lui pourraient réduire les proportions du déchet, et il discute la question de qualité des produits.

Il pense que, pour l'acier, la présence du silicium qui ne peut être complétement éliminé, s'il reste du carbone, s'opposera à ce qu'on obtienne des produits vraiment supérieurs, parce que le silicium a le tort d'enlever le corps du métal et que son influence est surtout nuisible dans les aciers vifs destinés à la trempe. Pour produire un acier vraiment supérieur, il faudra toujours préparer d'abord un fer pur et le cémenter après, afin que le résultat ne soit qu'un fer pur carburé. En outre, la fabrication en grand présentera des difficultés très-graves à l'égard du classement et de l'écoulement de tous les produits, car rien ne peut guider ici d'une manière positive le fabricant, relativement aux divers degrés de décarburation qu'il s'agit d'obtenir; et les exigences du commerce en matière d'aciers sont très-grandes et très-justifiées.

On a parlé d'un compteur à air pour arriver à doser ce dernier, mais on oublie que les fontes ne sont point homogènes à l'égard du carbone et des corps étrangers à éliminer; qu'on ne peut espérer brûler complétement tout l'air introduit et que des analyses même souvent répétées ne fourniraient pas d'indications suffisantes. L'emploi d'un compteur est donc chose illusoire, l'expérience y suppléera sans doute dans une certaine mesure, mais sous le rapport de l'égalité des produits et des moyens de s'assurer, à un moment donné, des aciers réguliers d'une dûreté demandée et réclamée occasionnellement par telle ou telle industrie, le procédé Bessemer présentera toujours, M. La Salle le craint, une infériorité marquée sur les méthodes actuelles.

Mais cette objection ne concerne que les aciers de qualité; et dans le plus grand nombre des cas, des aciers très-doux, quoique légérement siliceux et irréguliers, pourront trouver des applications utiles et nombreuses.

M. La Salle termine en faisant entrevoir les immenses résultats que le procédé Bessemer est appelé à produire. La préparation en grosses masses moulées d'un métal pur et homogène, tel que la condition de fluidité peut seule le donner, est déjà un progrès considérable, c'est un résultat tout nouveau pour le fer, et au moins économique pour l'acier. Mais il est un autre avantage auquel on n'a pas suffisamment songé; les grosses pièces de forge, qui ont exigé pour leur confection des paquets volumineux, présentent presque toujours à l'intérieur une cristallisation grossière qui diminue singulièrement les conditions de résistance. La cause en est due à la nécessité où l'on se trouve d'abandonner pendant longtemps à l'action de la chaleur les grosses masses pour permettre au calorique d'y pénétrer à cœur. On remédie plus ou moins sans doute à cet inconvénient par le secours d'engins puissants, mais il est des limites qu'on ne peut toujours atteindre; le procédé Bessemer, en permettant de couler en moules, lèvera sous ce rapport bien des difficultés, et, si l'on sait avec cela profiter avec intelligence des ressources de la trempe, on obtiendra ce résultat nouveau de mouler le fer fibreux, c'est-à-dire qu'on substituera dans un grand nombre de cas, et comme cela a lieu pour tous les autres métaux, le coulage en moules au travail si dispendieux de la forge et des marteaux.

On sait en effet que tout métal pur, et que le fer en particulier, coulé en coquille reste doux et fibreux, s'il a pu éprouver un refroidissement assez rapide pour ne pas avoir le temps de cristalliser. Il y a là une propriété dont les arts tireront un parti considérable, et que le procédé Bessemer seul peut rendre praticable, si, comme l'espère M. La Salle, on parvient à élever suffisamment la température du métal pour pouvoir l'amener par le moulage au moins à une forme approchant de celle qu'il doit définitivement recevoir.

La lecture de ce mémoire est suivie d'une discussion que l'heure avancée a dû abréger.

M. Faure dit que M. La Salle vient de montrer les désidérata du procédé Bessemer, et d'indiquer ce qu'il pourra produire lorsque les difficultés qui en-

travent son développement industriel auront été résolues; mais il est nécessaire de noter que les cinq années d'expériences écoulées n'ont pas encore permis à la pratique de donner une sanction aux promesses de l'inventeur.

M. Brown, l'un des plus chauds partisans de M. Bessemer, ainsi qu'il le déclare lui-même, a dépensé plus de 175000 fr. en essais et n'a pu obtenir le fer à moins d'un déchet de 40 p. 0/0.

Un membre rapporte que des maîtres de forges anglais avaient traité collectivement pour l'acquisition du brevet de M. Bessemer, moyennant une forte somme payable dès que l'inventeur aurait pu fournir du fer au commerce, et que ce traité n'a pas eu de suite.

Des ingénieurs des mines ont été chargés, il y a quelques années, de faire un rapport sur la fabrication du fer par le procédé Bessemer, et ils n'ont eu à constater que des résultats peu pratiques. Il est vrai de dire que ces essais avaient lieu sur des fontes impures, telles que celles du pays de Galles.

Par le procédé Bessemer on n'agit que sur le carbone et le silicium de la fonte.

Le phosphore, le soufre et les corps qui se présentent dans un état de combinaison qui les dérobe à l'action immédiate de l'oxigène restent dans les produits de l'opération. Il y a donc nécessité de ne soumettre au procédé Bessemer que des fontes qui ne contiennent pas ces corps, mais cela restreint simplement l'application du procédé et ne lui ôte pas sa valeur intrinsèque. Il reste toujours, pour les minerais purs et les minerais qui produisent des fontes aciéreuses, un moyen simple et susceptible de donner les fers et les aciers les plus purs, les plus homogènes et les plus résistants, et la perspective d'épargner par la fusion en lingots à l'industrie du fer, les dispendieux appareils et les engins de plus en plus puissants à l'aide desquels le fer est traité pour arriver à son épuration. Il ne faut donc pas s'étonner que M. Bessemer se soit rejeté sur la fabrication de l'acier. Les divers essais entrepris ont absorbé, dit-on, plus de deux millions, et ce n'est que depuis que la direction à leur donner a été comprise que les produits sont égaux, et sont acceptés par le commerce.

L'acquisition du brevet faite par M. James Jackson de Saint-Seurin permettra sans doute de fixer les opinions sur les résultats qu'on peut attendre, en traitant par ce procédé les fontes françaises.

M. La Salle pense que l'insuccès des tentatives de M. Brown pour la conversion des fontes en fer doit tenir à ce que l'opération n'aura pas été conduite avec assez de rapidité.

Un membre fait observer qu'il serait utile de bien établir les conditions par lesquelles le procédé Bessemer diffère des procédés de puddlage actuels qui s'appliquent plus facilement aux fontes provenant de minerais phosphoreux et sulfureux.

M. Mathieu cite, à l'appui de l'opinion qui a été émise que le procédé Bessemer ne s'applique qu'aux fontes pures, que M. Jackson a échoué dans le traitement, pour conversion en acier, des fontes provenant des minerais phosphoreux du Périgord, tandis qu'il a parfaitement réussi en traitant les fontes de l'Ariége.

M. Thomas pense que le procédé est encore trop nouveau pour qu'on puisse être complétement fixé sur les résultats qu'on doit en attendre.

On voudrait qu'il pût donner tout de suite, et de bon fer, et de bon acier; c'est exiger beaucoup trop pour un procédé qui n'a jusqu'ici été exploité en grand qu'entre les mains de M. Bessemer.

Les métallurgistes paraissent admettre que ce procédé exige l'emploi d'un *grand* volume d'air lancé sous une *forte* pression. Cette opinion demande à être combattue. Il ne faut que le volume d'air et les pressions théoriques.

La pression du vent ne doit dépasser celle produite par la fonte, que de la quantité nécessaire pour que le bain liquide puisse se laisser traverser; et le volume injecté doit produire la quantité d'oxigène nécessaire au degré de décarburation qu'on veut obtenir. Le nombre de tuyères exagéré dont on a parlé n'est pas indispensable, ce nombre résulte bien plus de la disposition de l'appareil, que de la nécessité de diviser l'air en l'injectant, car le bouillonnement de la fonte est tel, que la division des bulles gazeuses aura toujours lieu dans un appareil bien disposé.

La pression du vent et la quantité d'air à injecter avaient été calculées, ainsi qu'il vient d'être dit, pour les soufflerie que MM. Jackson se proposaient d'établir; et les nombres obtenus se sont trouvés exactement les mêmes que ceux que M. Bessemer a indiqués quelques jours plus tard, en se chargeant de fournir lui-même cette soufflerie.

La grande délicatesse de conduite du procédé Bessemer résulte de la difficulté qu'on éprouve pour arrêter l'opération à l'instant exact où la décarburation a atteint le degré voulu.

Cette difficulté, qui n'est point complétement vaincue, conduit à des produits de qualités différentes.

MM. Jackson se proposent de la tourner en faisant une prise d'essai sur chaque lingot, de manière à pouvoir classer les produits. Cette méthode, employée depuis longtemps pour les aciers ordinaires, permettra sans aucun doute de donner à l'industrie au moyen du procédé Bessemer et sans perte de métal les qualités d'acier qu'elle recherche pour chacun de ses besoins.

M. Faure insiste sur l'aperçu présenté par M. La Salle, que la haute température à laquelle a lieu la production du fer, par le procédé Bessemer, permettra de mouler directement le métal, et de lui donner une forme quelconque. Cet avantage est immense, car il supprime d'un seul coup et la difficulté d'obtenir les grosses pièces de machines, et tout l'outillage si dispendieux qu'entraîne leur forgeage.

M. Goschler demande si des expériences, faites sur des pièces ainsi obtenues, ont permis de reconnaître leur qualité, leur homogénéité et leur résistance; car on sait que les métaux fondus, tels que l'acier, le cuivre, etc., présentent des soufflures, et que l'acier coulé a souvent besoin d'être corroyé avant son emploi.

M. La Salle répond que les expériences de Woolwich indiquent comme résistance pour le métal fondu brut, n'ayant point été travaillé au marteau

ou au laminoir, une moyenne de 30 kil. par m/m. q. pour le fer et d'environ 45 kil. pour l'acier.

La possibilité de couler en moules est déjà obtenue depuis quelques années pour l'acier. Quant au fer, c'est une question de température et rien ne paraît s'opposer à ce qu'on puisse l'atteindre. Le fer restera fibreux comme les autres métaux usuels obtenus par fusion s'il peut se refroidir assez promptement pour empêcher la cristallisation de se produire; et il n'aura pas de soufflures si l'on parvient à l'amener à un état de fluidité convenable.

M. Faure fait observer que le mémoire lu par M. Chobrzynski rapporte qu'un canon a été fondu à Woolwich, et que des tôles ont résisté par 47 et 50 kil. par m/m.

M. Limet annonce que la fonderie de Rueil doit essayer prochainement un nouveau procédé de décarburation des fontes imaginé par M. Galy-Cazalat, dans le but d'obtenir des canons fondus.

Le procédé consisterait à décarburer le métal au moyen d'un courant de vapeur surchauffée, lancé à haute pression.

La fonte serait mise en fusion dans un cubilot complétement fermé, d'où elle sortirait pour tomber dans un creuset recevant, à la partie inférieure et tangentiellement, le courant de vapeur chauffé préalablement par son passage *per descensum* à travers le cubilot, et à travers des carneaux compris entre les deux récipients.

M. Thomas fait remarquer que l'emploi de la vapeur surchauffée au traitement de la fonte a été tenté plusieurs fois depuis 1840; il craint que cet essai, qui d'ailleurs ne peut être entrepris de quelque temps, ne donne pas de bons résultats : la vapeur absorbera d'abord de la chaleur pour se décomposer, et il est probable que les gaz qui traverseront le bain de fonte n'agiront pas comme l'air.

M. le Président remet à la prochaine séance la continuation de la discussion. Dans l'intervalle, le mémoire de M. La Salle sera imprimé et distribué à ceux des membres qui en feront la demande. Il appelle l'attention de la Société sur les développements que mérite la comparaison des méthodes actuelles de traitement, avec celle de Bessemer au point de vue de son application aux divers minerais de fer qui sont exploités en France, et sur l'influence que ce nouveau procédé peut exercer sur l'outillage employé dans la fabrication du fer.

SÉANCE DU 15 MARS 1861

Présidence de M. Eugène Flachat

M. Edmond Roy, membre de la Société, écrit pour demander qu'il soit rendu compte d'un essai récent de sa machine, auquel ont assisté plusieurs membres de la Société.

Cette machine est à 4 essieux et à 8 roues accouplées. L'écartement entre les essieux extrêmes est de 6m40. Les deux essieux extrêmes sont maintenus dans des boites susceptibles d'une déviation latérale de 7 cent., nécessaire pour le passage dans les courbes d'un rayon de 80 mètres. Les deux essieux intérieurs sont fixes. L'écartement entre chacun des essieux de l'avant est de 2m40. Entre le 3e et le 4e il est de 1m80. Les cylindres sont placés entre le 1er et le 2e essieu de l'avant, leur diamètre est de 0m44; la course de 0m60. Le foyer est placé entre le 3e et le 4e essieu. Les roues ont 1m24 de diamètre. La surface de chauffe est de 115 mètres. Le poids est de 45 tonnes.

L'accouplement des essieux extrêmes est à une seule bielle placée au milieu des essieux. Cette disposition avait eu pour conséquence de faire fausser les essieux dans un essai ayant pour but de constater la résistance que pouvait offrir cet accouplement aux efforts résultant du patinage. Le diamètre des essieux intérieurs a été porté depuis cette expérience de 0,15 à 0,18; et celui des essieux extrêmes, de 0,15 à 0,22. M. Roy a l'intention, pour éviter toute chance de fausser les essieux, de porter leur diamètre à 0,20 et 0,25, et d'augmenter aussi proportionnellement la dimension des bielles simples d'accouplement.

Le but de l'expérience était de constater le bon fonctionnement de la machine sous un effort de traction maximum. Le poids brut du train remorqué était de 570 tonnes, et, y compris le poids de la machine, de 615 tonnes. La rampe de St-Michel ayant 3, 5 millimètres d'inclinaison, l'effort de traction supposé à 8 k. 5 pour le train et à 13 k. 5 pour la machine pouvait être de 5425 k. Par un vent violent à 45°, contre la direction de la marche du train, la rampe qui a 9 kilomètres de longueur a été franchie en moins de 25 minutes.

Le temps ayant manqué pour faire passer le train dans les courbes de 80 mètres de rayon, M. Roy s'en réfère aux expériences qui ont été faites à cet égard à une vitesse de 45 kil. à l'heure, en présence de MM. Callon, Faure, Thomas et Gaudry, membres de la Société.

Pendant cet essai, la discussion a principalement porté sur les effets de l'accouplement simple auquel on n'est pas disposé à accorder une résistance suffisante dans le patinage; on a dit que l'effort transmis dans le sens d'une rotation quelconque par une seule bielle était nul quand les manivelles sont au point mort. La rotation n'est alors déterminée que par une égale disposition des deux roues à accomplir le même mouvement dans la même direction, condition qui ne se réalise pas toujours dans le patinage. Il y a à craindre alors des efforts sur la bielle ou les essieux, propres à les fausser. M. E. Roy ne partage pas cette opinion que, suivant lui, l'expérience ne confirmerait pas depuis qu'il a augmenté la dimension des bielles et essieux.

La discussion est reprise sur le procédé Bessemer.

M. Richoux, secrétaire, expose que les opinions émises dans la dernière séance sur les conditions de la production du fer et de l'acier par le pro-

cédé Bessemer sont tellement divergentes, qu'il y a lieu d'appeler l'attention de la Société sur de nouveaux éléments, qui paraissent appelés à jouer un grand rôle dans cette partie de la métallurgie.

Il y a plus de 30 ans que M. Despretz a montré que le fer, sous l'influence d'une température rouge, décompose le gaz ammoniac, fixe l'azote, devient poreux, cassant et éprouve une augmentation de poids qui peut aller à 11,5 p. 0/0.

M. Marchand avait aussi signalé la présence d'une matière brune dans les résidus provenant de l'analyse de la fonte et de l'acier, par le bichlorure de cuivre; matière qui n'est pas du charbon, puisque chauffée elle dégage beaucoup d'ammoniac.

Mais ces faits, mis en doute, n'avaient conduit à aucun résultat pratique nouveau, et personne n'avait fait remarquer leur connexion intime avec l'emploi fait en industrie de certains cémenls, tels que la corne, la suie, l'urine, le salpêtre, le prussiate de potasse, etc.

M. Caron paraît avoir signalé le premier (octobre 1860) le rôle de l'azote dans la cémentation. Suivant M. Caron, la combinaison du fer et du carbone a lieu par l'intermédiaire d'un composé carburé gazeux qui doit être un cyanure. Cette hypothèse est basée sur les expériences suivantes :

Si, au milieu d'un tube de porcelaine rempli de charbon concassé en morceaux de 1c3 environ, on place une barre de fer carrée; qu'on chauffe le tube au rouge, puis qu'on y fasse passer de l'hydrogène, de l'air, de l'azote, de l'oxide de carbone, de l'hydrogène carburé, on n'a pas de cémentation, après deux heures de feu chaque fois. Si, au contraire, on fait passer un courant de gaz ammoniac sec, on obtient rapidement une belle cémentation.

Si l'on supprime le charbon et qu'on soumette la barre de fer à l'action d'un courant gazeux de cyanure d'ammoniac sec, on obtient, après deux heures de chauffe au rouge, une barre cémentée comme précédemment.

Tous les cyanures alcalins donnent le même résultat.

Si les charbons de la première expérience sont imbibés d'une dissolution de carbonate de potasse, et qu'on fasse passer dans le tube un courant d'air sec, on obtient également une cémentation parfaite qu'on peut attribuer à la formation du cyanure de potassium sensiblement volatil qui a lieu dans ces circonstances.

De son côté, postérieurement à M. Caron, M. Frémy a présenté à l'Académie les résultats de ses recherches sur l'action de l'azote sur le fer, résultats qu'on peut résumer comme suit :

Le corps qui se produit dans la réaction du gaz ammoniac sur le fer chauffé au rouge est réellement de l'azoture de fer, et non de l'amidure, car il ne contient pas d'hydrogène.

L'azote ne se combine que très-difficilement avec le fer ordinaire, mais il peut s'unir rapidement avec lui, lorsqu'il est à l'état naissant. Il a fallu faire passer pendant trois jours consécutifs le courant de gaz ammoniac pour azoter complétement de petits fragments de fil de fer; mais on a obtenu facilement du fer azoté en faisant arriver le gaz sur de l'oxide de

fer, au moment de sa réduction soit par l'hydrogène soit par le charbon.

Le moyen le plus simple à employer pour la préparation de l'azoture de fer consiste à introduire du protochlorure de fer anhydre dans un tube de porcelaine porté au rouge vif, et à faire passer sur le sel un courant de gaz ammoniac fourni par l'ammoniac liquide du commerce, légèrement chauffé et desséché par son passage à travers des tubes remplis de potasse caustique.

Sous l'influence du gaz ammoniac le chlorure métallique se décompose, il se dégage du chlorhydrate d'ammoniac et aussi un sel amidé que l'eau décompose immédiatement en produisant de l'ammoniac et de l'oxide de fer. Et l'on trouve dans le tube une masse boursoufflée fondue en partie, quelquefois grise, souvent métallique blanche et brillante, qui est de l'azoture de fer.

L'azoture de fer ainsi obtenu est identique à celui qu'on produit par la réaction directe de l'ammoniac sur le fer chauffé au rouge; il est facile à réduire en poudre, moins oxidable que le fer pur; il s'attaque très-lentement par l'acide azotique du commerce, et avec rapidité par les acides sulfurique et chlorhydrique, en produisant des sels de fer et des sels ammoniacaux. L'azoture de fer s'aimante facilement et d'une manière permanente à la manière de l'acier, mais cette propriété paraît moins développée que dans l'acier.

Ce corps est remarquable par sa fixité; chauffé dans une brasque de charbon, il devient capable de prendre la trempe, mais alors, si on vient à le chauffer dans un courant d'hydrogène, il ne dégage plus d'ammoniac.

L'azoture de fer chauffé légèrement dans l'hydrogène se décompose immédiatement en donnant de l'ammoniac et du fer pur. L'azoture de fer paraît contenir de 9, 3, à 11, 5 p. 0/0 d'azote.

En soumettant à l'action du gaz ammoniac et à une température rouge de petits cylindres en fer très-pur, et assez gros pour que l'action chimique ne soit pas complète, on voit que la partie externe est presque fondue, très-friable, se détachant par le plus léger choc, et que la partie interne est encore d'une certaine dureté et métallique. Cette dernière partie se laisse entamer à la lime, mais elle est très-cassante, et ne contient guère que 6 p. 0/0 d'azote, tandis que la première en renferme 9, 8 p. 0/0. L'ensemble de ses propriétés lui donne une certaine analogie avec le métal auquel on donne dans les forges le nom de *fer brûlé*. M. Frémy se propose de rechercher si les accidents de fabrication qui enlèvent au fer toutes ses propriétés utiles ne seraient pas dus à une combinaison du fer avec l'azote. On voit par ce qui précède que l'azotation du fer présente, comme sa carburation, des degrés différents; qu'avant la formation de la croûte écailleuse d'azoture de fer le métal éprouve des modifications profondes tout en conservant une certaine malléabilité; il prend du grain et devient blanc; dans cet état le fer est encore métallique et se trouve cependant fortement azoté.

Ce fer azoté, qui est bien différent de l'azoture de fer, soumis à la température rouge, à l'action du gaz d'éclairage desséché, prend les caractères de l'acier.

Sous ce rapport, ses propriétés dépendent en quelque sorte de la quantité d'azote qui a été donnée primitivement au fer.

Si le courant de gaz d'éclairage passe sur du fer pur, on obtient une carburation très-régulière; le métal est converti en une fonte grise graphiteuse, très-malléable et comparable en tous points aux plus belles fontes produites par le charbon de bois; si le fer a été azoté au préalable, mais pendant un temps très-court, l'action du gaz d'éclairage produit un corps qui est, en quelque sorte, l'intermédiaire entre la fonte et le fer; si, au contraire, le métal a éprouvé une azotation suffisante, le gaz d'éclairage donne naissance à un acier d'un grain magnifique.

Lorsqu'au lieu de faire réagir successivement sur le métal l'azote et le carbone on fait arriver sur le fer, chauffé au rouge, un mélange d'ammoniac et de gaz d'éclairage, on obtient immédiatement une aciération qui varie avec les proportions relatives des deux gaz.

Ces faits établissent, dit M. Frémy, d'une manière positive le rôle important que joue l'azote dans le phénomène de l'aciération. Il restait à savoir si ce corps persiste dans le composé métallique, ou s'il n'est destiné qu'à présenter au fer le carbone dans un état favorable à la combinaison chimique.

Pour résoudre cette question, M. Frémy a porté au rouge l'acier obtenu au moyen de l'ammoniac et du gaz d'éclairage en le soumettant à un courant d'hydrogène pur et sec, et il a pu constater que, pendant toute la durée de l'expérience, il se dégageait des quantités considérables d'ammoniac. La même expérience faite sur des aciers Huntsmann, Jackson et Krup a conduit au même résultat. Ces aciers avaient été préalablement réduits en limaille très-fine, et *débarrassés de toute matière étrangère.*

M. Frémy conclut de ces expériences, que l'azote, contrairement aux idées admises jusqu'à présent, fait partie de l'acier; que l'*acier n'est pas un carbure de fer*, mais un *azoto-carbure de fer*. Il est probable que les différentes *marques* de l'acier dépendent de la durée de la cémentation et aussi des deux éléments qui peuvent se combiner au fer.

M. Frémy annonce qu'il se propose d'examiner les combinaisons de l'azote avec les autres métaux de la famille du fer, et les modifications que le fer peut éprouver lorsqu'on remplace le carbone et l'azote par des corps qui ont quelque analogie avec ces derniers.

Ce compte-rendu des expériences de M. Frémy donne lieu à une longue discussion.

M. Limet dit que la découverte de M. Frémy aussi bien que les travaux de M. Caron doivent être pris en très-haute considération. Ils pourront conduire à l'explication de phénomènes que la constitution reconnue des fontes et aciers ne justifie pas suffisamment.

Sans doute, les conséquences pratiques n'en seront pas immédiates, mais en ouvrant une nouvelle voie à la discussion et surtout aux expériences, on arrivera certainement à des résultats pratiques.

M. Limet croit donc utile de communiquer les expériences, à peu près identiques à celles de M. Caron, qu'il a faites il y a trois ans. Il en avait parlé à cette époque à plusieurs de nos collègues; mais il désirait les pousser plus loin avant de les publier.

Il a fait passer successivement, sur des morceaux de fer portés au rouge dans un tube, un grand nombre de gaz et de vapeurs carburés, de l'oxide de carbone, de l'hydrogène carboné et des hydro-carbures; après un temps assez prolongé, depuis deux jusqu'à dix-huit heures, il n'a jamais obtenu que des cémentations superficielles, alors même que le fer était dans du charbon de bois.

Si, au contraire, le fer étant placé dans du charbon, il faisait passer dans le tube les produits de la décomposition de matières ammoniacales, il obtenait, comme M. Caron, une cémentation très-belle, tenace et profonde.

Il en avait conclu : *que le cyanogène était le véhicule le plus énergique du carbone dans la cémentation.*

Rapprochant ces résultats des procédés employés dans les ateliers lorsqu'on veut tremper en paquets, et dans lesquels on emploie toujours des matières animales azotées comme cément; il fait observer dans quelle proportion minime elles doivent agir, puisqu'elles sont disparues presque entièrement, avant que le fer ait atteint la température à laquelle il peut s'allier au carbone.

Il croit donc que, pour utiliser pratiquement l'action si énergique et si remarquable des azoto-carbures sur le fer, il est indispensable :

1° De porter le fer mêlé de charbon à température convenable;

2° De le soumettre à l'action des azoto-carbures volatils.

Répondant à l'objection que la cémentation du fer se fait parfaitement dans du charbon seulement, il cite une expérience qu'il a répétée plusieurs fois sans pouvoir en trouver une explication complète.

Il a mis dans un creuset en fonte 40 kilogrammes de fer en barre, mêlé de charbon de bois grossièrement concassé. Le creuset était parfaitement bouché et luté, il avait un tube de dégagement pour les gaz, qui plongeait dans un bain de plomb liquide; l'air ne pouvait donc y rentrer.

Le creuset étant porté rapidement au rouge cerise vif, on obtenait, pendant six heures environ, un dégagement très-abondant de gaz inflammable, puis ce dégagement allait en diminuant, mais sans jamais cesser pendant les trente heures que durait l'expérience, le gaz dégagé restant constamment allumé.

Le pouvoir absorbant du charbon et son humidité ne paraissent pas à M. Limet suffisamment expliquer un pareil dégagement de gaz.

Le fer employé était du bon fer aciéreux de l'Ariége.

Il croit que ces gaz jouent un rôle très-important dans les caisses de cémentation qui contiennent jusqu'à 15000 kilogrammes chacune de fer mêlé de charbon. Cela n'expliquerait-il pas l'inertie bien constatée du charbon qui a déjà servi comme cément, et les différences notables données par les diverses essences de charbon.

Si l'on compare l'action parfaite et rapide des azoto-carbures à l'état de gaz ou de vapeur avec celle si lente du charbon solide, il ne faut pas moins que les merveilleuses propriétés spécifiques de l'acier pour justifier les bons résultats obtenus industriellement par les procédés actuels de fabrication.

Il suffit de rappeler en quelques mots ces procédés pour en faire la critique.

Etant admis que la qualité la plus difficile à obtenir, toutes choses égales d'ailleurs, est l'homogénéité, on procède comme suit :

1° Cémentation dans des fours contenant de 20 à 30000 kilogrammes de fer en barres, d'où irrégularité forcée de l'action calorifique et par conséquent de la cémentation ;

2° Nécessité de casser ces barres en petits morceaux pour les trier en huit ou dix lots de carburations différentes.

3° Mélange approximatif de ces lots pour fondre 20 à 25 kilogrammes seulement à la fois.

Il en résulte que, pour avoir des aciers vraiment supérieurs et homogènes, on est obligé de classer de nouveau les lingots de première fusion et de les mélanger pour procéder à une seconde fusion, toujours par 20 à 25 kilogrammes à la fois, ce qui conduit à des prix impossibles.

En présence de semblables résultats, du rôle si important que prend l'acier dans ses applications, il est permis de penser que les procédés actuels qui sont longs, coûteux et imparfaits doivent être modifiés.

Les progrès remarquables du puddlage appliqués aux aciers depuis quelques années seulement, les tentatives de M. Bessemer, les recherches de MM. Frémy et Caron sont des jalons précieux pour guider les industriels dans une voie rationnelle et pratique.

Un membre pense que le dégagement de gaz est dû, soit à l'air contenu dans le charbon, soit à l'air qui pénètre dans le creuset par le lut ou même à travers la fonte.

M. Faure dit que les expériences de M. Frémy montrent pourquoi le procédé Bessemer réussit mieux quand on l'applique à la fabrication de l'acier, que lorsqu'on l'emploie pour convertir la fonte en fer. Le fer se trouve en effet à l'état naissant, en présence d'une masse d'azote, condition que M. Frémy indique comme nécessaire pour la production du fer azoté et de l'acier.

M. La Salle dit que les expériences de M. Frémy et la manière dont elles sont présentées par cet éminent chimiste tendraient à introduire ce nouveau principe dans la métallurgie : Que la distinction à établir entre l'acier et la fonte tient uniquement à ce que, dans l'acier, l'azote interviendrait solidairement avec le carbone, pour constituer un azoto-carbure de fer ; tandis que la fonte continuerait à être tout simplement un carbure.

En présence des expériences si positives de MM. Despretz, Caron et Frémy, on ne peut nier l'influence de l'azote sur le fer ; on ne peut non plus se refuser d'admettre la possibilité éventuelle d'une intervention de ce gaz dans la formation de l'acier, puisque, dans la plupart des opérations où on produit ce dernier, il y a accès possible et plus ou moins facile de l'air.

Mais on aurait peine à comprendre qu'il fût sans action sur la fonte dans les hauts-fourneaux. Il semble que si, d'un côté, dans la cémentation au charbon de bois, qui se fait dans des fours et dans des caisses fermées,

l'azote pénètre quand même jusqu'au fer; si, d'un autre côté, dans le procédé Bessemer, on produit des aciers, en insufflant tout simplement de l'air dans la fonte liquide; il est impossible d'admettre que dans les hauts fourneaux où le fer et la fonte se trouvent successivement dans des conditions identiques, et en tous cas éminemment propres à subir l'action des torrents d'azote qui s'offrent à leur contact, ils y resteraient complétement insensibles.

M. La Salle ne pense pas qu'on puisse accepter sans discussion cette distinction entre l'acier et la fonte; il croit que, si l'azote est nécessaire pour constituer un carbure, il doit se retrouver aussi bien dans la fonte que dans l'acier, et si l'on peut cémenter du fer par un courant d'hydrogène *bi-carboné* sans l'intervention de l'air ou de l'azote sous une forme quelconque, de telle sorte que le produit présente tous les caractères d'un carbure, cela suffit pour démontrer que le rôle de l'azote n'est pas indispensable.

Quant au rôle qu'il peut jouer là où il intervient en masse, M. La Salle pense que tant que les expériences n'auront pas été quantitatives, on ne pourra rien conclure de positif, car les expériences de M. Frémy prouvent déjà que l'azote peut s'unir au fer en proportions variées; rien ne démontre par conséquent qu'il y ait réellement combinaison et non simple dissolution. L'azoture, dont M. Frémy donne la composition et la formule, ne s'accorde pas avec ce qu'avait trouvé précédemment M. Despretz; dans l'un et l'autre cas, le maximum trouvé ne pouvait-il correspondre tout bonnement à un maximum de saturation proportionnel à la température à laquelle s'est effectuée l'opération ou à la durée de cette dernière?

Ce qu'il y a de plus caractérisé dans les expériences citées, c'est que l'azote désagrége le fer. Ne pourrait-on trouver dans cette circonstance une explication satisfaisante de l'énergie d'action qu'il paraît communiquer à la cémentation?

Si les fers brûlés étaient des fers azotés, comme le donne à entendre, sans toutefois l'affirmer, M. Frémy, ils seraient tout disposés à se carburer. C'est le contraire qui a lieu, car les fers brûlés n'ont jamais donné trace de carbone à l'analyse, et pour les faire revenir on les recuit dans du charbon pendant quelques heures, sans qu'ils en absorbent.

Pourquoi d'ailleurs les fers aciéreux ne se brûleraient-ils pas encore plus facilement que les fers purs?

Il n'est du reste pas exact de prétendre, comme l'a fait M. Limet, que la fabrication de l'acier présente tous les caractères d'un procédé primitif; au contraire, rien n'est plus méthodique et mieux réglé. La difficulté n'est pas de produire au hasard un acier quelconque; la véritable et pour ainsi dire la seule difficulté est de le produire défini, pur et homogène. C'est pour cela qu'on prend les fers les plus purs, qu'on les cémente avec lenteur, et qu'on les refond en creuset.

Une cémentation rapide sous l'influence de l'azote pourra peut-être mieux donner cette homogénéité, elle ne dispensera cependant pas de la fusion, et certainement une cémentation lente offrira toujours des moyens

plus parfaite d'arriver à l'homogénéité et à la régularité quand on ne voudra pas recourir à la fusion. Au surplus, on obtient de l'acier très-rapidement en fondant directement dans un creuset un mélange de fer et de charbon en proportions convenables; l'opération dure deux ou trois heures, par suite de la nécessité où l'on est d'élever la température; mais, elle s'exécuterait bien certainement en quelques minutes, si le fer était préalablement mis en fusion avant l'introduction du charbon. Rien ne prouve jusqu'ici que l'azote n'intervient pas à la manière de la chaleur par une sorte de désagrégation ou de travail moléculaire qui prédisposerait le fer à mieux absorber le carbone.

M. Laurens discute l'opinion de M. La Salle, relativement à l'influence de l'azote dans les hauts-fourneaux.

Il a, dit-il, émis depuis longtemps l'opinion que le cyanogène se formait dans les hauts-fourneaux, et que l'on pouvait lui reporter l'acte de la carburation du fer, après la réduction du minerai par l'oxide de carbone. La carburation par ce dernier gaz est, en effet, impossible : il ne restait donc plus que l'action du carbone solide sur le fer solide pour expliquer le phénomène. Le cyanogène, ou les produits cyanurés, présentent le carbone au fer à un état tout à fait assimilable; et, l'azote ne se combinât-il pas avec le fer, qu'il aurait toujours fonctionné utilement, s'il avait servi de véhicule au carbone.

Mais l'analyse purement chimique des gaz des hauts-fourneaux, que la publicité a tant répandue, n'a pas décélé la présence d'un agent cyanuré dans les hauts-fourneaux. Cependant j'ai reconnu très-souvent, ajoute-t-il, le cyanure de potassium condensé derrière leurs parois; parfois même, il était assez abondant pour donner lieu à un écoulement. Ces analyses n'ont donc pas complété l'ingénieuse théorie de M. Leplay; elle ne sont pas non plus l'origine de l'application des gaz combustibles à la métallurgie.

M. Jullien conteste l'existence de l'azoture de fer; s'il y a de l'azote dans l'acier, il y est accidentellement. L'acier est une dissolution de carbone dans le fer; les matières animales employées comme cément n'ont d'efficacité que parce que le carbone y est à l'état de dissolution, c'est-à-dire dans des conditions plus favorables pour entrer dans une nouvelle dissolution.

Les bons résultats que l'on obtient en trempant de l'acier brulé dans l'huile de poisson, pour le faire revenir, n'ont pas d'autre cause.

L'acier est une dissolution de carbone dans le fer, mais c'est une dissolution dont le degré de saturation est tel que le carbone ne s'en sépare pas à l'état de graphite, lorsqu'on refroidit lentement le métal fondu.

La dissolution de carbone et de fer qui correspond à l'acier le plus dur ne contient, d'après Karsten, que 2,3 p. 0/0 de carbone. Lorsque la teneur en carbone est inférieure à 0,25 p. 0/0, l'acier ne prend plus la trempe. Lorsque la teneur en carbone dépasse 2,5 p. 0/0, ce n'est plus de l'acier mais de la fonte. Celle-ci peut contenir jusqu'à 5,25 p. 0/0 de carbone.

Un membre fait observer que, d'après cette théorie, tous les fers seraient propres à la production de l'acier.

M. Jullien admet cette conséquence, mais il fait observer que la qualité d'aciers obtenus au moyen de différents fers est très-variable.

Pour avoir de bons aciers il faut absolument du fer pur; de là l'échec éprouvé par un fabricant de Bordeaux, lorsqu'il a voulu faire de l'acier avec les fers phosphoreux du Périgord.

Tous les fers nerveux contiennent du phosphore; s'ils ne contiennent ni soufre, ni silicium, leur nerf est long; s'ils renferment du soufre, le nerf est court et noir; s'ils renferment du silicium au lieu de soufre, le nerf est court, mais brillant.

Dans tous les cas, ces fers ne retiennent pas de carbone et ne peuvent convenir à la fabrication des aciers de première marque.

Les fers à grain, c'est-à-dire ceux qui retiennent du carbone et proviennent de minerais particuliers (spathiques, manganésifères, etc.) sont seuls propres à la production des aciers de qualité supérieure.

Les fers qui contiennent peu de soufre peuvent bien donner de l'acier, mais l'acier obtenu est sujet aux criques; c'est ce qui arrive aux aciers de Rives provenant de fonte de Savoie.

Les aciers provenant de fers contenant du silicium sont faibles, c'est-à-dire qu'ils grènent facilement; ils peuvent convenir à la fabrication des ressorts, mais ils sont impropres à la confection des outils, tels que burins, etc.

Les aciers obtenus au moyen de fer contenant du phosphore donnent des aciers cassants; c'est ce qui arrive lorsqu'on traite les fers de Champagne.

Il faut donc ne cémenter que des fers purs pour avoir des aciers à outils.

Les aciers les plus durs sont obtenus avec les fers qui contiennent le plus de carbone; ce sont les seuls qui conviennent à la confection des filières.

Lorsqu'on cémente du fer, on observe que la cémentation a lieu de proche en proche, de l'extérieur à l'intérieur de la masse; aussi, lorsqu'on cémente du fer pour en obtenir des aciers à corroyer, sans recourir à la fusion, on doit conduire l'opération de manière à ce que la température se repartisse également dans tout le four, et prolonger longtemps l'opération. Ordinairement on chauffe fortement pendant trois jours, puis on maintient le feu pendant trente jours en chauffant à cheminée fermée.

Au contraire, lorsqu'on cémente pour avoir de l'acier fondu, on chauffe fortement durant toute l'opération, soit pendant douze jours.

Quand la cémentation est inégale et que les fers sont impurs, la trempe fait roser le métal, parce que l'intérieur n'a pas une ductilité suffisante pour s'allonger sous l'influence de la dilatation que fait subir la trempe à la surface intérieure.

M. Leplay, pensant que la cémentation est toujours due à un composé carburé gazeux, a conseillé de mettre au fond des caisses à cémentation du carbonate de chaux; mais ce corps n'a rien produit. Ce n'est donc pas l'oxide de carbone qui cémente, mais bien le carbone pur.

M. Jullien oppose à la théorie de M. Frémy le fait suivant : Si l'on prend un creuset à fondre l'acier et si l'on y introduit :

20 kil. fer en morceaux,
400 grammes charbon de bois en grains,
200 grammes manganèse en poudre,

le creuset est plein; si on le couvre et le met au feu, le manganèse commence à dégager environ 25 grammes d'oxigène qui, absorbant 19 grammes de carbone, forment 44 grammes, soit 35 litres d'oxide de carbone qui se dégagent et entraînent avec eux le peu d'azote restant dans le creuset.

Quand le métal est fondu, tout le carbone introduit s'y trouve à l'état de dissolution. Quand on découvre le creuset pour couler, il dégage une flamme bleue d'oxide de carbone brûlant qui prouve qu'il n'y a pas d'azote.

Or, si, comme le pense M. Frémy, le carbone s'est dissous dans le métal à l'état de cyanogène, il a dû absorber, pour 380 grammes de carbone restant, 440 grammes d'azote soit 300 litres de ce gaz.

M. Jullien se demande comment ce fait a pu avoir lieu et si l'on peut admettre qu'une masse de gaz aussi considérable a pu pénétrer du dehors, sans amener en même temps une masse d'oxigène qui aurait consumé une plus grande quantité de carbone que celle emportée par l'oxigène du manganèse.

M. La Salle ajoute que l'on obtient aussi de l'acier en cémentant de la fonte dans un oxide métallique; si la fonte est pure, on obtient un produit très-passable; mais, comme les fontes ne sont jamais rigoureusement pures, on ne peut arriver, par ce moyen, à la production d'aciers supérieurs. Toujours est-il que, dans ce cas, la réaction se borne à enlever à la fonte l'excès de carbone qu'elle contient. Comment admettre alors que, pendant que cet excès de carbone sortirait de la fonte, l'azote arriverait, après avoir traversé les caisses de cémentation qui dans ce cas sont en tôle, le cément qui entoure la fonte, etc., à pénétrer dans le cœur du métal pour fixer le carbone demeuré dans la masse et lui communiquer des propriétés aciéreuses qu'il n'aurait pas auparavant? — Comment expliquerait-on aussi la faculté qu'ont les fontes grises de durcir à la trempe, faculté qui atteste si bien leur analogie avec l'acier?

Suivant M. La Salle, il n'y a de distinction à établir entre l'acier et la fonte, qu'en ce que l'acier est un composé à proportions variables, mais essentiellement pur, de carbone et de fer, qui se limite d'une part par la faculté de durcir à la trempe, et, d'autre part, par la possibilité de subir un travail de forge propre à lui faire prendre les formes réclamées par les besoins de l'industrie. La pureté conserve au métal tout le *corps* qu'il est susceptible de prendre; la proportion plus ou moins grande de carbone détermine son degré de dureté.

Il ne peut se forger et se souder qu'à la condition de ne pas être trop fusible; cette dernière considération limite la proportion maxima de carbone qu'il peut retenir pour mériter le nom d'acier.

Toutes les impuretés qui peuvent le souiller ont une influence beaucoup plus pernicieuse que dans le fer ou la fonte, parce que leur action s'exalte considérablement dans la trempe et qu'elle est beaucoup plus sensible eu égard à la nature des services qu'on réclame de lui.

La fonte, au contraire, n'est jamais pure; cela résulte du mode de préparation; elle peut durcir par la trempe, mais elle ne peut se forger parce qu'elle est trop fusible; elle manque de corps parce qu'elle est impure; mais on est bien forcé de reconnaître que plus les fontes sont pures et moins elles sont carburées, plus leurs caractères se rapprochent de ceux de l'acier. Quant au fer, s'il ne durcit pas à la trempe, c'est qu'il ne contient pas assez de carbone; il est rarement très-pur. L'acier tient donc le milieu de l'échelle, il participe à la fois des meilleures propriétés du fer et des meilleures propriétés de la fonte; il emprunte à l'un la ténacité, la malléabilité, la ductilité, la soudabilité; à l'autre, la dureté, la trempe, la fusibilité; et, de ces qualités, il en résulte d'autres, telles que l'élasticité, le tranchant, le poli, que les autres composés de la même famille ne peuvent présenter à un aussi haut degré.

M. Limet dit que, si l'on tient compte des modifications si importantes apportées dans la qualité des aciers par des proportions infiniment petites de certains métalloïdes, il est impossible de contester *à priori* l'existence de l'azoture de fer. MM. Vohler et Deville ont d'ailleurs obtenu des azotures de tungstène et de titane doués d'une grande fixité, comme l'azoture de fer que M. Frémy annonce avoir produit.

Il ne faut pas oublier, pour les recherches à faire, que M. Frémy a été obligé de prendre les deux corps à l'état naissant, condition qui, dans les opérations métallurgiques, peut être très-variable.

On fait observer que les essieux et les bandages de MM. Petin et Gaudet, et ceux de Krupp ne prennent pas la trempe.

M. La Salle explique que ce fait tient à ce que la masse du métal est très-considérable, et que dans ce cas particulier l'acier est trop peu carburé pour que le refroidissement puisse être assez prompt pour déterminer le durcissement.

Si on divise préalablement ce métal en lames minces, il est susceptible de durcir légèrement à la trempe, ainsi que le feraient des fers fortement carburés ou des aciers très-doux. M. La Salle dit avoir fait détacher d'un essieu coudé en acier fondu de Krupp un fragment dont on a fait un burin qui a pu parfaitement couper l'essieu lui-même.

Il a obtenu des résultats semblables avec des fragments de rails et d'essieux, provenant de la fabrication de MM. Petin et Gaudet, mais moins prononcés parce que ces fabricants ont pour système de produire des aciers beaucoup plus doux.

Un membre fait remarquer que les théories qui attribuent au carbone seul un rôle dans la composition de l'acier, qu'on le considère comme un carbure de fer, ou comme du fer pur contenant seulement du carbone en dissolution, n'expliquent qu'un nombre trop restreint de phénomènes pour qu'il faille les considérer comme aussi absolues qu'on les présente. Les arguments par lesquels elles se défendent dans la discussion peuvent être retournés contre elles. On dit par exemple que, si l'azote se combinait avec le carbone et le fer pour produire de l'acier, les hauts-fourneaux produiraient de l'acier et non de la fonte. Mais, n'est-il pas plus logique encore

d'admettre que, si la fonte n'a, comme on le prétend, d'autre dissemblance avec l'acier qu'une simple proportion de carbone, les hauts-fourneaux marchant en fonte blanche produiraient, la plupart du temps, de l'acier.

Divers membres ont fait remarquer qu'il y a dans les procédés habituels de la fabrication de la fonte et du fer; dans les expériences de M. Frémy; dans les deux théories, celle qui représente l'acier comme un simple carbure de fer, et celle de M. Jullien qui le considère comme du fer pur contenant du carbone en dissolution; et enfin dans les résultats du procédé Bessemer, des faits concordants qui donneraient à l'opinion de M. Frémy sur la composition de l'acier une grande vraisemblance.

Tout le monde sait que le traitement direct par la méthode Catalane et autres semblables ne s'est appliqué qu'à des minerais propres à donner des fers plus purs que ceux qui sont soumis à la méthode ordinaire.

Ce fait s'accorde avec l'opinion de M. Frémy, exprimée par M. Yvan Flachat, que la présence de certains métalloïdes, le soufre, le phosphore, le silicium, s'opposent à la dissolution ou à la combinaison de l'azote dans la fonte. C'est ainsi que ce savant explique pourquoi les hauts-fourneaux au coke donnent des fontes sulfureuses impropres à la fabrication de l'acier, et comment la présence du silicium ou du phosphore peut expliquer l'absence de l'azote dans les produits des hauts-fourneaux au bois.

Ce même fait concorde aussi avec la théorie de M. Jullien, que le fer pur est seul propre à la fabrication de l'acier.

Le soufre, le phosphore, le silicium, n'entrent pas, dit-il, dans la composition de l'acier sans le dénaturer; le composé dont ils font partie n'est pas de l'acier; mais cette théorie ne peut expliquer pourquoi leur présence ôte au composé les propriétés de l'acier, puisqu'il est avéré que ces corps n'excluent pas la présence du carbone dans le composé dont ils font partie. Les expériences de M. Frémy, qui établissent au contraire que ces métalloïdes s'opposent naturellement à la formation de l'acier, parce qu'ils empêchent la triple combinaison de l'azote, du carbone et du fer, donnent une solution qui se substitue à la lacune la plus importante qu'offrait la théorie qui fait de l'acier un simple carbure de fer ou une dissolution du carbone à faible dose dans le fer pur.

Enfin, ce même fait si général, que ce sont les minerais produisant le fer le plus pur qui ont été toujours traités directement comme les plus propres à produire l'acier, se concilie encore avec les résultats de l'application du procédé Bessemer, qui s'est montré insuffisant pour traiter les fontes chargées de soufre, de phosphore ou de silicium en fortes proportions, et qui réussit avec les fontes pures à produire un excellent acier dans des conditions de fabrication qui mettent le fer carburé en contact immédiat à une très-haute température avec l'azote contenu dans l'air.

L'obscurité règne encore sur les proportions que doivent avoir le soufre, le phosphore et le silicium dans la fonte pour empêcher la combinaison du fer carburé avec l'azote. Mais on peut conclure de ce qui précède, que la théorie, que l'acier exclut leur présence, parce que c'est un carbure de fer ou une dissolution du carbone dans le fer, n'est pas le moins du monde

justifiée, tandis qu'il est admissible que, si c'est un azoto-carbure de fer, sa composition soit à un certain degré inconciliable avec la présence du soufre, du phosphore et du silicium.

Quant aux objections fondées sur ce que, dans les procédés actuels de fusion ou de cémentation, l'accès de l'azote n'est pas supposable à travers les enveloppes ou les récipients, la discussion a fait ressortir parmi ceux qui y ont pris part des opinions fort opposées, les unes considérant les brasques et les enveloppes comme absolument imperméables, les autres comme tout à fait perméables au gaz à une haute température. Toujours est-il que ce point n'a pas échappé à l'expérimentateur et que ses explications sont sinon incontestables, au moins admissibles.

M. La Salle répond à la précédente opinion : Qu'il ne voit de différence entre la fonte et l'acier que dans la question de proportion du carbone et de pureté du produit.

Les hauts-fourneaux marchant en fonte blanche pourraient, par conséquent, certainement produire de l'acier fondu si le produit pouvait être pur, et si étant pur on pouvait l'obtenir suffisamment fluide pour le couler. Mais chacun sait que même le minerai et les combustibles les plus purs donnent des fontes impures ; que la fluidité ne s'obtient, pour tout produit peu carburé, qu'à la condition d'élever considérablement la température. Ce qui placerait, par conséquent, l'allure du fourneau dans les conditions qui font la fonte grise. On tomberait dans un cercle vicieux. Il y a donc impossibilité de produire de l'acier dans un haut-fourneau ; quoique cependant cela arrive accidentellement. Mais l'azote n'y est pour rien.

Toutes les fontes sont susceptibles de durcir à la trempe, et c'est là le caractère spécifique de l'acier. Les fontes ne sont à la vérité pas ductiles comme l'acier, parce qu'elles sont beaucoup trop fusibles ; mais elles tiennent cette fusibilité précisément de ce qu'elles contiennent plus de carbone et plus d'impuretés.

Si l'on venait nous dire que l'azote offre un moyen de purification, on concevrait sa bienfaisante intervention ; car ce n'est évidemment pas lui qui communique au produit la propriété de durcir à la trempe, ce n'est pas non plus lui qui rend l'acier forgeable, ce n'est enfin pas lui qui maintient le carbone dans l'acier puisque les bonnes fontes le retiennent avec non moins d'énergie que les meilleurs aciers.

Alors qu'apporte-t-il ? Quelle propriété donne-t-il par lui-même ? C'est ce que personne ne voit jusqu'à présent.

L'argument tiré de la présence du soufre, du phosphore et du silicium n'est valable ni pour ni contre. Ces corps n'empêchent pas de faire de l'acier, ils empêchent de le faire bon. M. Frémy a fait, selon lui, de la fonte en soumettant du fer rouge à un courant de gaz d'éclairage. On fait aussi de la fonte dans les mêmes conditions que l'acier fondu en augmentant la charge de carbone. Fonte ou acier, le produit en question a dû au moins prendre la trempe s'il a réellement été pénétré par le carbone ; il a dû se laisser forger s'il n'en a pas trop absorbé, et nous ne voyons pas en quoi il a pu différer de l'acier, car, dans ce cas, c'était un produit pur.

Le procédé Bessemer est dans les mêmes conditions que les autres procédés, quant à la fabrication partielle de la fonte. Aucune méthode ne fera de bons produits avec les fontes contenant du soufre ou du phosphore, non pas parce que ces corps empêchent l'union de l'azote et du carbone, ni parce que l'azote ne peut les chasser, mais parce qu'ils introduisent des propriétés pernicieuses qui leur sont propres, et qui se retrouvent aussi bien dans les fers sulfureux ou phosphoreux, celle par exemple de rendre cassant à chaud, qui vient du soufre, et celle de rendre cassant à froid, qui vient du phosphore.

Enfin, l'accès de l'air dans les appareils est admissible dans une certaine mesure, mais pas dans les proportions considérables qui ont été indiquées.

Ne nous a-t-on pas dit d'ailleurs que l'azote libre ne se combinait que très-difficilement avec le fer produit par les moyens ordinaires. Or, dans le creuset de M. Jullien, le fer est bien du fer ordinaire, et la pénétration du carbone y est très-prompte. Comment donc, dans ce cas exceptionnel, l'azote libre du foyer aurait-il pu se combiner en aussi grande proportion et en si peu de temps?

M. le Président demande qu'un membre veuille bien se charger d'analyser l'ouvrage de M. Hodge sur le pont Victoria, et celui de M. Scott Russell sur les avantages des constructions navales en fer sur celles en bois. MM. Yvan Flachat et Doublet se chargent de rendre compte du premier ouvrage.

MM. Arman, Calmette, Consolat, Godfernaux, Letestu, Litschfousse, Pillichody et Stoekel ont été reçus membres de la Société.

2e NOTE sur la Coulisse de Stephenson et la distribution à détente variable produite par un seul tiroir à recouvrements.

PAR

M. DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ.

(Voir pour la première partie les Mémoires de la Société des Ingénieurs civils. — Année 1860, 2e bulletin trimestriel).

Voici le plan de notre travail :

PREMIÈRE PARTIE.

THÉORIE DE LA COULISSE STEPHENSON.

Remarque fondamentale.

§ 1er. Théorie et réglementation de la coulisse fixe, ramenées à celle de l'excentrique circulaire.

§ 2. Théorie et réglementation de la coulisse mobile, ramenées à celles de l'excentrique circulaire.

§ 3. Application à divers exemples.

DEUXIÈME PARTIE.

ÉTUDE SUR LES DISTRIBUTIONS PRODUITES AVEC UN TIROIR UNIQUE.

§ 4. Condition de régularité. — Moyen de régler sans calcul les appareils qui donnent au tiroir un mouvement sinusoïdal.

§ 5. Application à la coulisse de Stephenson ; étude pratique des meilleures formes à donner à l'appareil.

§ 6. Étude sur l'appareil de M. Valskarsh et celui de MM. Sharp Stewart et Hope.

§ 4me.

Condition de régularité. — Moyen de régler sans calcul les appareils qui donnent au tiroir un mouvement sinusoïdal.

CONDITION DE RÉGULARITÉ.

Rapportons le mouvement $x = \varphi(\omega)$ du tiroir à l'angle ω décrit par la manivelle motrice (*).

Comptons les x à partir de l'axe de symétrie des lumières supposées égales ainsi que les recouvrements (fig. 15).

Admettons enfin que $\varphi(\omega)$ soit développable en série ordonnée en $\sin\omega$ et $\cos\omega$, c'est-à-dire que l'on ait :

$$(7) \quad x = M\cos\omega + N\sin\omega + P\sin^2\omega + Q\sin\omega\cos\omega + V\cos_3\omega + \ldots$$

D'abord la distribution doit être régulière (symétrique sur les deux faces du piston), donc, pour deux positions opposées ω, $\omega + \pi$ de la manivelle, les valeurs de x doivent être égales et de signes contraires.

Pour cela la condition nécessaire et suffisante est que les

(*) Si l'obliquité de la bielle motrice n'est pas négligeable, on rapportera le mouvement $x = f(\omega)$ du tiroir à l'angle ω décrit par une manivelle fictive que conduirait le piston par l'intermédiaire d'une bielle infinie ; pour cela on changera ω en $\omega + \frac{R}{2D}\sin\omega +$, etc..., série dont il suffit de considérer les deux premiers termes. La substitution peut s'effectuer au moyen de la formule de Taylor.

Dans le reste du paragraphe, nous supposerons cette correction faite, et par suite nous raisonnerons dans l'hypothèse d'une bielle infinie.

coefficients P, Q, etc. des termes de degré pair en sinω et cosω soient nuls (*).

Pratiquement, si la série est très-convergente, il suffira que les deux coefficients P et Q soient assez petits.

MOYEN DE RÉGLER SANS CALCUL LES APPAREILS QUI DONNENT AU TIROIR UN MOUVEMENT SINUSOÏDAL.

Nous appelons ainsi un mouvement exprimé par l'équation $x = M\cos\omega + N\sin\omega$ (qui représente une sinusoïde), et à laquelle se réduit l'équation (7) lorsque la série est très-convergente.

Un tel mouvement peut être produit par un excentrique circulaire, et les éléments de la distribution sont :

e, *i*, recouvrements extérieurs et intérieurs du tiroir.

ρ, rayon de l'excentrique fictif, égal à la demi-course du tiroir.

α, angle de calage de l'excentrique fictif.

Il existe entre ces éléments et les circonstances de la distribution des relations géométriques très-simples que voici :

1° Soient (fig. 16) *o*I, *o*II, *o*III, *o*IV, les positions qu'occupe la manivelle au commencement et à la fin de l'admission et de l'émission, *les durées angulaires IIoIII, IVoI, de la détente et de la compression sont égales.*

2° Décrivons une circonférence avec le rayon A*o* égal à la demi-course du tiroir, tirons les cordes (I II), (III IV) coupant en C et D le diamètre FH, bissecteur commun des angles I *o* II, III *o* IV, on aura :

(*) En effet, l'on a : $\sin(\omega + \pi) = -\sin\omega$, et $\cos(\omega + \pi) = -\cos\omega$. Si donc on change ω en $\omega + \pi$, les termes de degré impair en $\sin\omega$ et $\cos\omega$ changeront de signe en gardant la même valeur, et les termes de degré pair resteront les mêmes.

Ao = ρ rayon de l'excentrique fictif

AoH = α angle de calage id.

oC = e recouvrement extérieur du tiroir

oD = i id. intérieur id.

cF = ouverture maxima des lumières pendant l'admission

DH = id. l'émission

Am (distance du point mort A à la corde I II) = avance linéaire à l'admission

Bn (distance du point mort B à la corde IIIIV) = avance linéaire à l'émission.

Enfin, AB représentant à une certaine échelle la course du piston, les projections des arcs I A, A II, II III, etc. sur ce diamètre représenteront les périodes de l'admission (*) anticipée de l'admission, de la détente, etc.

Si l'appareil est *à détente variable*, et que, pour diverses durées de l'admission, on trace l'épure précédente :

1° Les lieux des points C et D seront des circonférences décrites de O comme centre avec e et i comme rayons.

2° Le lieu du point H représentera l'équation $\rho = f(\alpha)$ (**).

Ces diverses relations permettent de résoudre, sans calcul, les principales questions relatives au groupe d'appareils que nous venons de considérer, et qui comprend en général : l'excentrique circulaire, les différentes variétés de la coulisse de Stephenson, la coulisse de MM. Sharp Stewart et Hope, l'appareil de M. Walskarsh, etc (***).

(*) Ces relations n'existent que si la bielle motrice est infinie; nous les avons déduites de la théorie de l'excentrique circulaire, théorie que M. le général Morin a exposée dans son *Traité des machines à vapeur* (édition de 1846), et qu'il a attribuée à M. Clapeyron.

(**) La relation $\rho = f(\alpha)$ caractérise l'appareil indépendamment du tiroir appliqué.

Les recouvrements e, i, caractérisent le tiroir.

(***) Etant donné le tableau de la distribution d'une machine, si l'on figure

L'égalité des durées angulaires de la compression et de la détente fait que ces divers mécanismes ne permettent généralement pas de détendre avec avantage avant que le piston soit arrivé au quart ou même au tiers de sa course.

Si cependant, à l'exemple des Américains et des Anglais, on élève la pression de la vapeur à 10 et même à 12 atmosphères, il serait d'une grande utilité de posséder un appareil simple et robuste (comme il convient dans une machine à grande vitesse), qui permît de pousser beaucoup plus loin la détente, sans augmenter démesurément la compression.

L'analyse rationnelle de ce problème nous paraît digne de fixer l'attention des Ingénieurs (*).

§ 5me.

Application à la coulisse de Stephenson; étude pratique des meilleures formes à donner à l'appareil.

ÉPURE DE RÉGLEMENTATION.

Appliquée à la coulisse de Stephenson, l'épure indiquée au précédent paragraphe n'est que l'expression géométrique complète des résultats de notre premier mémoire.

en AB (fig. 25) la course du piston, et en A2, 2 3, — etc., l'admission, la détente, etc. — et qu'aux points 2, 3, 4, 1, on élève sur AB des perpendiculaires 1I, 2II, etc., jusqu'à la rencontre de la circonférence décrite sur AB, les arcs AII, II III, — etc., représenteront les durées *angulaires* de l'admission, de la détente, etc., (*les angles* étant, bien entendu, ceux décrits par la manivelle fictive); il est donc fort aisé de comparer les durées angulaires de la détente et de la compression.

(*) Théoriquement il sera possible de produire avec un simple tiroir à recouvrements telle distribution que l'on voudra, mais alors, $\varphi(\omega)$ devra contenir des termes de degré 3, 5, etc., en $\sin\omega$ et $\cos\omega$; l'introduction de ces termes dans le mouvement du tiroir est une condition nécessaire de l'amplification des distributions.

Nous allons traiter un exemple, afin de montrer comment l'épure peut se disposer commodément.

Cet exemple est relatif à des machines à voyageurs du système Clapeyron (Série 17-50) du chemin du Nord.

Dans ces machines les coulisses sont mobiles, à deux flasques; les barres d'excentriques sont droites. Voici les éléments principaux de la distribution :

Angle de calage, avant	120°
Id. arrière	120°
Rayons des excentriques	65 m/m
Recouvrements extérieurs égaux.	25 m/m
Id. intérieurs égaux.	1 m/m
Longueur de la coulisse entre les points d'attache des barres d'excentriques	300 m/m
Longueur des barres d'excentriques.	1m875

Cherchons : 1° quelles sont les durées de la détente de l'émission anticipée, etc., les ouvertures maxima et les avances linéaires lorsque la détente commence au tiers $\left(\frac{33}{100}\right)$ de la course du piston;

2° La durée de l'admission aux crans extrêmes.

Sur une feuille de papier quadrillé, décrivons (fig. 17) une circonférence avec un rayon égal par exemple à 10 centimètres, divisons le diamètre GH en 100 parties égales; et aux points de division menons des perpendiculaires qui viennent marquer sur chaque demi-circonférence les positions de la manivelle correspondantes aux positions du piston.

Du centre o, décrivons trois autres circonférences, la première avec le rayon r d'excentricité, la seconde avec un rayon égal au recouvrement extérieur e, la troisième avec un rayon égal au recouvrement intérieur i.

Supposons que la manivelle se meuve dans le sens indiqué par la flèche, alors la partie de la courbe $\rho = f(\alpha)$ correspondante à la marche en avant se trouvera située en *qn* au-dessous du diamètre GH.

Cherchons d'abord quelles sont toutes les circonstances de la distribution pour admission de $\frac{33}{100}$. Marquons en I la position qu'occupe le bouton de la manivelle, lorsque le piston a parcouru $\frac{33}{100}$ de sa course, tirons *Io* qui vient rencontrer la circonférence *e* en *f;* au point *f*, menons à cette circonférence une tangente *fm* qui vient couper la courbe *qn* au point *m*, la longueur *mo* est égale à la demi-course ρ du tiroir, et la droite *mo* est la bissectrice des angles IVoI, IIoIII, formés par les positions de la manivelle au commencement et à la fin de l'admission, au commencement et à la fin de l'émission. La détermination des quantités cherchées s'effectuera alors comme nous l'avons expliqué déjà; mais nous allons indiquer trois vérifications de la construction précédente.

D'abord la corde (1,4) doit être tangente au cercle *e*. De plus, la distance horizontale du point *m* au cercle *e* doit être égale à la distance du point *g* à la corde (1,4), puisque ces deux longueurs représentent également l'avance linéaire à l'admission. Enfin la distance horizontale du point *m* au cercle *i* doit être égale à la distance du point *h* à la corde (2,3), puisque ces deux longueurs représentent également l'avance linéaire à l'émission.

Pour connaître la durée de l'admission au cran extrême, nous prolongeons *on* jusqu'à la rencontre de la circonférence *e*, et au point de rencontre nous menons à cette circonférence une tangente qui vient couper la circonférence *r* en *vw; ov* et *ow* sont les directions de la manivelle au commencement et à la fin de l'admission; on trouve ainsi pour les durées de l'admission anticipée et de l'admission : $\frac{1}{2}$ et 80 $\frac{1}{2}$.

Les résultats obtenus par l'épure sont écrits dans le tableau

ci-joint, en regard de ceux qui ont été mesurés directement à l'aide d'un modèle en bois.

Dans cette distribution les durées du refoulement sont très-longues; pour les réduire (sans changer le calage des excentriques, c'est-à-dire la courbe *qn*), on augmentera le recouvrement *e*.

Nous avons tracé en lignes ponctuées sur la même figure l'épure de la nouvelle distribution obtenue avec des recouvrements extérieurs plus grands de 5 m/m $\frac{1}{2}$.

CIRCONSTANCES de la distribution pour une admission de 33/100.	DISTRIBUTION PRIMITIVE — Recouvrement extérieur $e = 25$		DISTRIBUTION MODIFIÉE — Recouvrement extérieur $e = 30$ m/m 1/2	
	Cotes obtenues par l'épure	Cotes relevées sur un modèle en bois	Cotes obtenues par l'épure	Cotes relevées sur un modèle en bois
	Centièmes de la course du piston	Centièmes de la course du piston	Centièmes de la course du piston	Centièmes de la course du piston
Admission.	33	33	33	33
Détente	35 1/4	36	41 1/2	40 3/4
Emission anticipée.	31 3/4	31	25 1/2	26 1/4
Emission.	66 1/4	66 1/2	72 3/4	73 3/4
Compression. . . .	27	27 1/4	25 3/4	24 7/8
Refoulement. . . .	6 3/4	6 1/4	1 1/2	1 3/8
	Millimètres	Millimètres	Millimètres	Millimètres
Course du tiroir. .	77	77 1/4	82	81 1/2
Avance linéaire à l'admission. . .	11 1/2	10 7/8	5 5/8	5
Avance linéaire à l'émission. . . .	35	34 7/8	35	35 1/2
Ouverture maxima des lumières pendant l'admission.	13 3/4	13 5/8	10 1/2	10 1/4

MOYENS PRATIQUES DE RÉGULARISER UNE DISTRIBUTION.

Le mouvement du tiroir étant représenté avec une assez grande exactitude par une série convergente de la forme (7), nous trouvons par le calcul subséquent les moyens suivants de régularisation :

1° On rend en général P assez petit, en portant le point de suspension de la coulisse un peu en avant ou en arrière de l'axe, suivant le cas. (*) (**)

2° On rend en général Q assez petit, en reportant les points d'attache m' m'' des barres d'excentriques en avant ou en arrière du point de suspension, selon que ces barres sont droites ou croisées.

Conséquence pratique : Si l'on emploie la coulisse simple avec points d'attache en arrière, il y a en général avantage (quant à la régularité) à croiser les barres d'excentriques, pourvu qu'en même temps on excentre convenablement le point de suspension.

Dès lors la coulisse simple, déjà préférable à la coulisse double

(*) Avant que le calcul nous eût conduit à ces résultats, l'*excentrement* du point de suspension de la coulisse était pratiqué à l'usine de Graffenstaden et au bureau des Etudes du chemin de fer du Nord; M. Geoffroy, chef de ce bureau, l'avait appliqué avec succès à plusieurs appareils, rebelles à tout autre moyen de régularisation.

(**) Le terme $P\sin^2\omega$ est égal à $P - P\cos^2\omega$; ainsi en calant convenablement le tiroir sur sa tige, l'erreur due à ce terme deviendra nulle lorsque le piston est au milieu de sa course, et maxima lorsqu'il est aux extrémités; les avances linéaires sur les deux faces du piston différeront alors de 2P. On y peut remédier, au moins en partie, en donnant aux deux pattes du tiroir des longueurs inégales. Mais alors les admissions sur les deux faces du piston seront souvent rendues très-différentes, et d'ailleurs l'inégalité des pattes du tiroir présente quelques inconvénients pratiques, par exemple il peut arriver que dans un dépôt de locomotives, où se trouvent plusieurs types de tiroirs de rechange, on ne sache pas quel est pour chaque machine le côté du piston où se doit trouver la patte la plus longue.

au point de la solidité et de l'entretien, permettra généralement d'obtenir des distributions tout aussi régulières (*).

DÉTAIL DU CALCUL.

Nous avons vu (première partie fig. 2) que l'abcisse x' d'un point d'attache m', d'une barre sur la coulisse, était donnée à une constante près par l'équation :

$$x' = -r\cos(\omega + a) - d + \sqrt{d^2 - ((c - r\sin(\omega + a))^2}$$

développant le radical, on obtient l'expression :

$$(8)\quad x' = -r\cos(\omega + a) - \frac{(c - r\sin(\omega + a))^2}{2d} - \frac{(c - r\sin(\omega + a))^4}{8d^3} - \ldots$$

(*) Il est aisé de connaître l'importance et le signe des coefficients P et Q, en considérant la courbe des mouvements relatifs du tiroir et du piston. Cette courbe serait une ellipse (1 fig. 18), si l'équation (7) se réduisait à $x = M\cos\omega + N\sin\omega$; l'addition du seul terme $P\sin^2\omega$ a pour effet de plier le diamètre $a'a''$ des cordes cd parallèles à ox, et de donner à la courbe la forme II. D'un autre côté, l'addition du seul terme $Q\sin\omega\cos\omega$ ne change pas le diamètre ab, mais la longueur des cordes cd, et donne à la courbe la forme III; la variation de longueur des cordes cd est :

nulle pour	$\omega = \frac{\pi}{2}$ et $\omega = \frac{3\pi}{2}$
maxima et du signe de Q pour	$\omega = \frac{\pi}{4}$ et $\omega = \frac{7\pi}{4}$
maxima et de signe contraire à Q pour	$\omega = \frac{3\pi}{4}$ et $\omega = \frac{5\pi}{4}$

Les déformations dues aux deux termes en $\sin^2\omega$ et en $\sin\omega\cos\omega$ se composent avec celles généralement assez faibles, dues aux termes de degré supérieur. Supposons que la courbe IV représente le mouvement relatif du piston et du tiroir, tirons les cordes rs, tu correspondantes à $\omega = \frac{\pi}{4}$ et à $\omega = \frac{3\pi}{4}$, on aura approximativement $rs - tu = 2Q$; tirons aussi les cordes $a'a''$, $b'b''$; soient f leur intersection, et g le milieu de $b'b''$, on aura approximativement $gf = P$; et, suivant que gf sera positif ou négatif, il faudra pour diminuer sa valeur absolue porter le point de suspension de la coulisse en arrière ou en avant de l'axe.

(*) dans laquelle on suppose que la distance du point m' à l'axe ox reste égale à c. Il n'est est pas exactement ainsi, surtout lorsque les points d'attache m', m'', et le point de suspension s ne sont pas en ligne droite (fig. 19).

Appelons e la distance du point s au milieu de la droite $m'm''$, et θ l'inclinaison de la coulisse sur une perpendiculaire à ox ; la distance t de m' à ox sera :

$$t = e \sin\theta + c\cos\theta.$$

D'ailleurs x et x'' ayant pour valeurs approchées :

$$x' = -r\cos(\omega + a + \varepsilon)$$
$$x'' = -r\cos(\omega - a - \varepsilon)$$

(ε étant égal à : arc $tg\ \frac{c}{d}$)

on peut admettre pour θ la valeur donnée par l'équation :

$$\text{(9)} \qquad \sin\theta = \frac{x' - x''}{2c} = \frac{r}{c}\sin(a + \varepsilon)\sin\omega$$

d'où posant $a + \varepsilon = A$

(*) Ces calculs sont relatifs à la coulisse fixe, et au cas où les calages des excentriques sont égaux.

Si dans la formule (11) on change ω en $\omega + k\pi$ on passera au cas de la coulisse mobile, et si l'on y change ω en $\omega + \frac{a' - a''}{2}$ on passera au cas où les calages a' a'' sont différents. Comme d'ailleurs les développements de $\sin^m(\omega + v)$ et $\cos^m(\omega + v)$, (où v est une constante quelconque) sont homogènes et de degré m en $\sin\omega$ et $\cos\omega$, si l'on désigne par P et Q les fonctions de e, d, r, etc., qui, dans la formule (11), sont coefficients de $\sin^2\omega$ et de $\sin\omega\cos\omega$, les conditions de régularité seront pour toutes ces variétés de la coulisse :

$$P = o$$
$$Q = o$$

et les deux règles pratiques énoncées permettront en général d'y satisfaire approximativement.

$$l = \frac{er}{c} \sin A \sin\omega + c\sqrt{1 - \frac{\gamma^2}{c^2}\sin^2 A \sin^2\omega}$$

qui devra être substitué à c dans la formule (8) (**).

En second lieu, pour éliminer l'effet de l'obliquité de la bielle motrice, nous remplacerons, dans la formule (8), ω par

$$\omega + \frac{R}{2D}\sin\omega.$$

Avant comme après ces deux substitutions, l'expression du mouvement de m' est de la forme :

$$x' = M\cos\omega + N\sin\omega + P\sin^2\omega + Q\sin\omega\cos\omega + V\cos^3\omega + \ldots$$

changeant ω en $-\omega$, on aura l'expression du mouvement de m''

$$x'' = M\cos\omega - N\sin\omega + P\sin^2\omega - Q\sin\omega\cos\omega + V\cos^3\omega + \ldots$$

Enfin, si l'on pose encore $\frac{qm}{qm'} = k$: le mouvement d'un point quelconque m de la droite $m'm''$ s'écrira :

$$x = M\cos\omega + kN\sin\omega + P\sin^2\omega + kQ\sin\omega\cos\omega + V\cos^3\omega + \ldots$$

Supposons maintenant que la coulisse, dont nous négligeons la courbure, soit située à la distance g en avant de la droite $m'm''$, soit m_1 le point de cette coulisse situé à même distance

(**) Nous ne considérerons dans tous nos calculs que les deux premiers termes du second membre de l'équation (8); l'erreur commise en négligeant les termes suivants a pour expression :

$$\gamma = -\frac{[c - r\sin(\omega + a)]^4}{8[d - \theta[c - r\sin(\omega + a)]^2]^{3/2}}$$

dans laquelle θ est un nombre positif indéterminé plus petit que l'unité. Cette erreur est d'autant plus petite que les rapports $\frac{r}{c}$, $\frac{c}{d}$ sont eux-mêmes plus petits. Elle est généralement négligeable, d'abord à cause de sa petitesse, et ensuite parce qu'elle se compose en grande partie de termes de degrés impairs en $\sin\omega$ et $\cos\omega$, qui, ainsi, n'altèrent pas la symétrie de la distribution,

de qs que le point m, et désignons par x_1 l'abcisse du point m_1, on aura : $x_1 = x + g\cos\theta$.

Effectuant les calculs précédemment indiqués, on trouve :

$$(10)\quad x_1 = \left\{\begin{array}{l|l|l|l|l} -r\cos a & \cos\omega + r\sin a & k\sin\omega - \dfrac{e^2r^2}{2c^2d}\sin^2 A & \sin^2\omega - \dfrac{r^2}{2d}\sin 2a & k\sin\omega\cos\omega + \ldots \\ + \dfrac{cr}{d}\sin a & + \dfrac{cr}{d}\cos a & + \dfrac{r^2}{2d}\sin^2 A & + \dfrac{er^2}{cd}\sin A\sin a & \\ & - \dfrac{er}{d}\sin A & - \dfrac{r^2}{2d}\cos^2 a & + \dfrac{rR}{2D}\sin a & \\ & & + \dfrac{r^2}{2d}\sin^2 a & + \dfrac{crR}{2dD}\cos a & \\ & & + \dfrac{er^2}{cd}\sin A\cos a & - \dfrac{erR}{2dD}\sin A & \\ & & + \dfrac{rR}{2D}\cos a & & \\ & & - \dfrac{crR}{2dD}\sin a & & \\ & & - \dfrac{gr^2}{2c^2}\sin^2 A & & \end{array}\right.$$

En considérant cette équation, nous ferons immédiatement deux remarques :

La première est que l'angle de calage A_1 de l'excentrique fictif qui produirait le mouvement

$$x = r\frac{d-e}{d}\sin A.k.\sin\omega - r\cos A\cos\omega$$

est donné par la formule :

$$tg\ A_1 = \frac{d-e}{d}\ tg\ A$$

et que cet angle A_1, étant substitué à $A = a \pm \epsilon$, dans la théorie de la coulisse [§ 2 et § 3], cette théorie se trouvera étendue au cas où les points d'attache m', m'' ne sont pas situés dans l'axe.

La deuxième, c'est qu'en général les trois termes auxquels se réduit le coefficient Q (termes écrits dans la formule 11) sont tous trois positifs lorsque c et e sont de même signe, et qu'en changeant le signe de e, Q se trouvera diminué de la quantité :

$$2\frac{er^2}{cd}\sin A\sin\alpha - \frac{er\mathrm{R}}{d\mathrm{D}}\sin A = \frac{er}{d}\sin A\left(2\frac{r}{c}\sin\alpha - \frac{\mathrm{R}}{\mathrm{D}}\right)$$

généralement du signe de e, puisqu'on a généralement :

$$\frac{\mathrm{R}}{\mathrm{D}} < 2\frac{r}{c}\sin\alpha$$

Ceci démontre la deuxième règle énoncée au commencement de ce paragraphe.

Quant à la première règle, il faut, pour l'établir, compléter cette théorie en analysant le mouvement du coulisseau m_1 (fig. 19) dans la coulisse.

Ce mouvement est défini par l'équation $k = \psi(\omega)$ dans laquelle on a encore

$$k = \frac{qm}{qm'} = \frac{q_1 m_1}{q_1 m_1'}.$$

Considérons encore la coulisse comme rectiligne, et admettons que le coulisseau décrive des droites situées à une distance p de l'axe ox (p variant suivant les crans). On aura :

$$k = \frac{p-(e-g)\sin\theta}{c\cos\theta}$$

substituant à θ la valeur donnée par l'équation (9), on a :

$$k = \left(\frac{p}{c} - \frac{(e-g)\,r}{c^2}\sin A\sin\omega\right)\times$$

$$\times\frac{p}{c}\left(1 + \frac{r^2}{2c^2}\sin^2 A\sin^2\omega + \frac{3\,r^4}{8\,c^4}\sin^4 A\sin^4\omega + \ldots\right).$$

Substituant cette valeur dans la formule (10), posant $\frac{p}{c} = k$, et

négligeant les nouveaux termes de degré impair (en $\sin\omega$ et $\cos\omega$) qui vont prendre naissance (*), opérant les réductions, et admettant que $\cos a$ et $\frac{d-e}{d}$ diffèrent très-peu de l'unité, on a :

$$(11)\quad x_1 = -r\cos A\cos\omega + \left| \begin{array}{l} +r\dfrac{d-e}{d}\sin A\,k\sin\omega + \dfrac{c^2-e^2}{c^2}\dfrac{r^2}{2d}\sin^2 A \\ \qquad -\dfrac{r^2}{2d}\cos 2a \\ \qquad +\dfrac{er^2}{cd}\sin A\cos a \\ \qquad +\dfrac{rR}{2D}\cos A \\ \qquad -(2e-g)\dfrac{r^2}{2c^2}\sin^2 A \end{array} \right| \left| \begin{array}{l} \sin^2\omega - \dfrac{r^2}{2d}\sin 2a \\ \qquad +\dfrac{er^2}{cd}\sin A\sin \\ \qquad +\dfrac{d-e}{d}\dfrac{rR}{2B}\sin A \end{array} \right| k\sin\omega\cos\omega + \ldots$$

(*) Ces termes ont souvent pour effet de rendre les durées angulaires de détente et de la compression un peu différentes; du reste, ils sont proportionnels à $\frac{p}{c}$ et en général très-faibles aux crans usuels ; remarquons d'ailleurs que dans toute distribution à tiroir unique, lorsque l'on passe de la marche en avant à la marche en arrière, l'admission et l'émission anticipées deviennent respectivement l'admission et l'émission *et vice versa*. Si donc les deux distributions sont identiques pour l'avant et pour l'arrière, on aura au point de passage (*point mort*) :

Durées linéaire et angulaire de l'admission anticipée = Durées linéaire et angulaire de l'admission.

Durées linéaire et angulaire de l'émission anticipée = Durées linéaire et angulaire de l'émission.

et par suite : Durées linéaire et angulaire de la compression = Durées linéaire et angulaire de la détente.

Ces distributions sont donc nécessairement *mauvaises* aux environs du point mort. Du reste, quant à la distribution à coulisse, si, théoriquement, ces termes de degré 3, 5, etc., amélioraient un peu le mouvement du tiroir, ce serait au prix d'un inconvénient pratique assez sérieux. La coulisse devant s'incliner beaucoup pour que le coulisseau s'y déplace d'une quantité suffisante, la réaction entre ces deux pièces deviendrait considérable, il y aurait usure rapide, et, de là, perturbations.

l'excentrement $e—g$ du point de suspension a donc pour effet d'ajouter au coefficient P un terme de signe arbitraire (du signe de $g-e$) et permet ainsi de diminuer ce coefficient, ce qui démontre la première règle énoncée au commencement de ce paragraphe.

Nous avons supposé tout à l'heure la coulisse rectiligne et les trajectoires du coulisseau parallèles à l'axe, cette hypothèse est, en général, tout à fait admissible, surtout pour les crans usuels, mais si l'on veut pousser l'analyse plus loin, la courbure de la coulisse et les perturbations dues au relevage rendent la théorie extrêmement complexe en y introduisant un grand nombre de nouveaux éléments; aussi, pensons-nous que les résultats précédemment exposés sont d'une exactitude bien suffisante dans la pratique, d'autant plus que l'on ne saurait prétendre régler avec une précision absolue le mouvement d'un tiroir, en présence de toutes les perturbations qui surgissent pendant la marche de la machine.

Telles sont les dilatations et les flexions des pièces, et, dans les locomotives, la flexion des ressorts de suspension.

Cette dernière cause peut être soumise au calcul.

Supposons d'abord l'axe ox du tiroir horizontal (fig. 20).

Si le centre o de la roue portant les excentriques s'abaisse d'une quantité δc relativement à ox, la distance du point m' à o_1x_1, deviendra $c + \delta c$, et son abcisse x', donnée par une équation de la forme $x = F(\omega,c)$ variera d'une quantité ayant pour valeur approchée (*) :

$$\delta x' = F'_c(\omega' c)\, \delta c.$$

prenant pour valeur de x' le second nombre de l'équation (8) réduit à ses deux premiers termes, il vient :

(*) $F'_c(\omega,c)$ est la dérivée de $F(\omega,c)$ prise par rapport à c.

$$\delta x' = \left[-\frac{c}{d}+\frac{r}{d}\sin(\omega+\alpha)\right]\delta c$$

On a de même :

$$\delta x'' = \left[\frac{c}{d}+\frac{r}{d}\sin(\omega-\alpha)\right]\delta c$$

et enfin :

$$\delta x = \left[-k\frac{c}{d}+\frac{r}{d}(\cos\alpha\sin\omega + k\sin\alpha\cos\omega)\right]\delta c$$

Supposons maintenant que l'axe ox soit incliné d'un angle γ sur l'horizontale, on aura (en désignant encore par δc la quantité dont le centre o s'est abaissé relativement au bâtis de la machine) :

$$(12)\quad \delta x = -\sin\gamma\,\delta c + \left[-k\frac{c}{d}+\frac{r}{d}(\cos\alpha\sin\omega + k\sin\alpha\cos\omega)\right]\cos\gamma\,\delta c$$

formule prouvant qu'il y a avantage : et à allonger les barres d'excentriques, et à diminuer l'inclinaison de l'axe du tiroir.

Soient : $\frac{c}{d} = \frac{1}{5}$, $\frac{r}{d} = \frac{1}{10}$, et $\delta c = 15$ m/m,

on trouvera que pour différents crans et diverses positions de la manivelle, δx atteint 3, 4 ou 5 m/m si $\gamma = o$, et 4, 5, ou 6 m/m si $\gamma = \frac{1}{10}$.

A ces perturbations s'ajouteront encore celles que produisent les dilatations et les flexions des pièces.

Il y a intérêt à diminuer autant qu'on le peut chacune de ces petites causes d'erreur qui produisent dans leur ensemble de fâcheux effets.

§ 6ᵐᵉ.

Études sur l'appareil de M. Valskarsh et celui de MM. Sharp Stewart et Hope.

ÉTUDE SUR L'APPAREIL DE M. VALSKARSH.

Cet appareil (fig. 21) comprend une coulisse $m'm''$ fixée invariablement en son milieu q, et dont une extrémité m'' est mue par un excentrique calé à 90° de la manivelle motrice; la bielle mb commandée par cette coulisse n'agit pas directement sur le tiroir, elle est articulée sur un levier abc dont l'extrémité c est conduite par le piston par l'intermédiaire de la bielle s et dont l'extrémité a est articulée sur la tige guidée ax' du tiroir.

Négligeons les effets de l'obliquité des bielles d, t, s et D, et de l'inclinaison de l'axe $o'x'$.

Si l'on désigne par r le rayon de l'excentrique, par k le rapport $\frac{mq}{m'q}$, et par R le rayon de la manivelle motrice, les mouvements des points b et c suivant ox ont pour expressions :

$$x_b = kr\sin\omega$$
$$x_c = -R\cos\omega$$

Si donc on pose $\frac{ab}{bc} = h$, l'équation du mouvement du point a et par suite du tiroir sera :

$$x = Rh\cos\omega + kr(h+1)\sin\omega,$$

ou en posant :

$$Rh = l,\ r(h+1) = p$$
$$x = l\cos\omega + kp\sin\omega. \qquad (13)$$

Ce mouvement pourrait donc être produit par un excentrique circulaire dont les éléments l p sont donnés par les formules :

$$\begin{cases} tg\alpha = -k\dfrac{p}{l} \\ \rho = l\sqrt{l^2 + k^2p^2} \end{cases}$$

, α, ρ, sont donc liés identiquement de la même manière que dans la coulisse fixe de Stephenson; si donc les hypothèses que nous avons faites sont admissibles, la coulisse fixe et l'appareil de M. Valskarsh donneront des résultats identiques (*).

Pour le vérifier, nous avons déterminé graphiquement les éléments de la distribution produite par des appareils de ce système installés sur les machines Crampton nos 165 à 170 des chemins de fer du Nord.

L'expérience a complétement réussi, comme nous le montrerons plus loin en comparant nos résultats avec ceux qu'on a obtenus par une mesure directe.

Les perturbations δx du mouvement du tiroir, produites par les flexions des ressorts, sont en général bien moindres avec cet appareil qu'avec la coulisse de Stephenson; supposons en effet que m'' se meuve sensiblement sur l'axe ox, supposons le cylindre horizontal, et soit δc la quantité dont le centre o_1 s'abaisse relativement au bâtis de la machine, on aura approximativement :

$$\delta x = \left[k(h+1)\frac{r}{d}\cos\omega - h\frac{R}{D}\sin\omega\right]\delta c$$

et cette valeur de δx est en général bien moindre que celle donnée par l'équation (12) lorsque $\gamma = o$.

Nous terminerons en ajoutant, que si, dans le seul exemple

(*) *Nota.* — L'erreur y, commise sur la valeur de x, a une expression de la forme :

$$y = M\cos\omega + N\sin\omega + P\sin^2\omega + Q\sin\omega\cos\omega + V\cos^3\omega + \ldots$$

mais le constructeur ayant trouvé moyen de rendre la distribution régulière pour la marche avant, l'erreur y se réduit (pour la marche avant) à :

$$y = M\cos\omega + N\sin\omega + V\cos^3\omega + \ldots$$

que nous ayons étudié, l'appareil de M. Valskarsh n'offre sur la coulisse aucun avantage théorique, il se peut cependant que cet ingénieux mécanisme soit susceptible de perfectionnement, de telle sorte que l'on parvienne à introduire dans le mouvement $x = M\cos\omega + N\sin\omega$ du tiroir les termes de degré 3, 5, etc., nécessaires pour améliorer la distribution.

Du reste, au point de vue pratique, l'expérience a paru montrer jusqu'ici que l'appareil de M. Valkarsh était établi dans de bonnes conditions de solidité et d'entretien.

Voici le résumé de la vérification annoncée plus haut.

Les éléments de la distribution des machines (165-170) du chemin de fer du nord, sur lesquelles cette vérification a été faite, sont :

Rayon de l'excentrique	$r = 85$ m/m.
Rayon de la manivelle motrice	$R = 275$ m/m.
Longueur de la bielle motrice	$D = 2$ m 185.
	$Rh = 33$ m/m 58
Recouvrements extérieurs égaux :	$e = 31$ m/m.
Recouvrements intérieurs égaux :	$i = 1/2$ m/m.

Les résultats obtenus par l'épure sont inscrits dans le tableau suivant, en regard des mesures relevées directement sur un modèle en bois.

CIRCONSTANCES DE LA DISTRIBUTION	ADMISSION DE 33/100		ADMISSION DE 77/100 (cran 10 marche avant)	
	Cotes obtenues par l'épure	Mesures relevées sur le modèle	Cotes obtenues par l'épure	Mesures relevées sur le modèle
	Cent. de la course	Cent. de la course	Cent. de la course	Cent. de la course
Admission	33	33	77 forts	77 1/2
Détente	44	44 1/2	16 2/3	16 1/4
Emission anticipée	23	22 1/2	6 1/3	6 1/2
Emission	76 1/4	76 1/2	93 1/4	93 1/4
Compression	23 1/4	23 1/10	6 3/4	6 3/4
Refoulement	1/2 faible	4/10	»	1/20
	Millimètres	Millimètres	Millimètres	Millimètres
Avance linéaire à l'admission	2 forts	2 3/8	2 forts	1 1/2
Avance linéaire à l'émission	33 faibles	32 7/8	33 faibles	32
Ouverture maxima des lumières pendant l'admission	8 forts	7 5/8	35	35
Course du tiroir	78 1/2	76 3/4	132	132

La course au point mort est d'après l'épure de 66 m/m forts, et en réalité de 66 m/m.

ÉTUDE SUR L'APPAREIL DE MM. SHARP STEWART ET HOPE.

D'après la théorie subséquente, ce nouvel appareil et la coulisse fixe de Stephenson donnent des distributions sensiblement identiques; du reste, leur seule différence matérielle consiste dans la manière dont est commandée la coulisse proprement dite : dans

le nouveau système, la coulisse fait corps avec le collier d'un excentrique unique dont elle reçoit son double mouvement de translation et de rotation autour du point de suspension q (fig. 22).

L'appareil de MM. Sharp Stewart et Hope est donc beaucoup plus simple et moins volumineux, mais il présente certains désavantages :

1° Il est en général nécessaire, pour la régularité, que le coulisseau se déplace d'une quantité très-considérable dans la coulisse, ce qui produit une usure rapide et des perturbations.

2° La coulisse doit être en général très-longue et par suite très-lourde.

3° L'excentrique, commandant la coulisse au point dont le mouvement a le moins d'amplitude, fatiguera beaucoup et s'usera rapidement. De là perturbations.

4° D'autres perturbations plus graves encore seront causées par la flexion des ressorts de suspension des locomotives, flexion qui déplacera le centre o de la roue motrice, de 10 ou 15 m/m relativement à l'axe ox du cylindre.

En définitive, la coulisse Sharp Stewart et Hope ne semble pas préférable à celle de Stephenson, pour les locomotives, mais elle pourra, en certains cas, la remplacer avec avantage pour les machines fixes ou celles de bateaux ; voilà pourquoi nous avons cru intéressant d'en étudier la théorie.

Supposons d'abord l'excentrique calé à l'opposé de la manivelle motrice (fig. 22); soit r son rayon, et d la distance de son centre au milieu q de la coulisse ; on aura pour équation du mouvement du point q :

$$x = r\cos\omega - \frac{r^2}{2d}\sin^2\omega - \frac{r^4}{8d^3}\sin^4\omega - \ldots$$

et pour équation du mouvement d'un point quelconque m de la

coulisse, on aura en posant $\frac{qm}{qm'} = k$:

$$x = r\cos\omega + k\frac{cr}{d}\sin\omega - \frac{r^2}{2d}\sin^2\omega - \frac{r^4}{8d^3}\sin^4\omega - \ldots$$

Éliminant l'effet de l'obliquité de la bielle motrice en changeant ω en $\left(\omega + \frac{R}{2D}\sin\omega\right)$,

on a :

$$(14)\quad x = r\cos\omega + k\frac{cr}{d}\sin\omega - \left|\begin{array}{l}\frac{r^2}{2d}\\ -r\frac{R}{2D}\end{array}\right| \sin^2\omega + k\left|\frac{crR}{2dD}\right| \sin\omega\cos\omega \quad \ldots$$

Les termes qui suivent le 4e sont négligeables, mais les coefficients des termes en $sin^2\omega$ et en $sin\omega$, $cos\omega$ ne peuvent s'annuler. Cependant on peut diminuer beaucoup le terme en $sin^2\omega$ en modifiant les dispositions (fig. 23).

Prolongeons de $e = q_1q$ la bielle fictive d, au delà du point de suspension q_1, et plaçons la coulisse $m'qm''$; le coulisseau se mouvant à peu près suivant des parallèles tu à ox, va se déplacer dans la coulisse d'une quantité assez considérable mn qui apportera dans la formule (14) un terme qui aura pour valeur (en posant $m_1n = \delta$) :

$$\delta - e = \frac{e}{\cos\alpha} - e$$

si l'on désigne par α l'inclinaison de la coulisse sur l'horizontale et que l'on néglige la courbure de cette coulisse, on a :

$$\sin\alpha = \frac{r\sin\omega}{d}$$

et par suite la valeur approchée de $\delta - e$ est :

$$e\frac{r^2}{2d^2}\sin^2\omega$$

Le mouvement du tiroir s'exprime alors par l'équation :

$$(15)\quad x = r\cos\omega + k\frac{cr}{d}\sin\omega - \left|\begin{array}{l}\dfrac{r^2}{2d}\\ \dfrac{rR}{2D}\\ +e\dfrac{r^2}{2d^2}\end{array}\right| \sin^2\omega + k\frac{crR}{2dD}\sin\omega\cos\omega - \ldots$$

Comparant les équations (14) et (15) correspondantes aux deux dispositions, on voit que dans le second cas le terme en $\sin^2\omega$ est plus petit, et qu'ainsi la distribution est plus régulière.

Du reste, comme les seconds membres des équations (14) et (15) sont des séries très-convergentes, si les termes en $\sin^2\omega$ et en $\sin\omega\cos\omega$ sont assez petits pour être négligés, on aura pour expression du mouvement du tiroir l'équation :

$$x = r\cos\omega + k\frac{cr}{d}\sin\omega$$

qui correspond à un excentrique circulaire fictif dont les éléments sont :

$$\begin{cases}\rho = r\sqrt{1 + k^2\dfrac{c^2}{d^2}}\\ tg\alpha = -k\dfrac{c}{d}\end{cases}$$

k, α, ρ, sont donc liés identiquement de la même manière et dans la coulisse fixe de Stephenson, et dans l'appareil de M. Walskarsk, et dans la coulisse de MM. Sharp Stewart et Hope.

Supposons maintenant que la coulisse commande le tiroir par l'intermédiaire du levier ac (fig. 24), fixé en son milieu b, l'équation du mouvement du tiroir sera :

$$x = r\cos\omega + k\frac{cr}{d}\sin\omega + \left|\begin{array}{l} +\dfrac{r^2}{2d} \\ -r\dfrac{R}{2D} \\ -e\dfrac{r^2}{2d^2} \end{array}\right| \sin^2\omega + k\left|\frac{crR}{2dD}\right| \sin\omega\cos\omega - ..$$

Ainsi, pour annuler entièrement le coefficient de $\sin^2\omega$, on devrait donner à e la valeur

$$e = d\left(1 - \frac{R}{D}\frac{d}{r}\right)$$

quantité généralement très-petite, et nulle si $\frac{R}{D} = \frac{r}{d}$.

Ainsi la régularité de la distribution n'exige plus que le coulisseau glisse d'une quantité aussi considérable dans la coulisse.

Nous terminerons ce travail, en observant, que la théorie de la coulisse de Stephenson qui s'y trouve exposée permet de régler géométriquement l'appareil à coulisse et à deux tiroirs appliqué par M. Polonceau à quelques locomotives du chemin de fer d'Orléans. Il sera facile de déterminer le mouvement absolu de chacun des tiroirs et leur mouvement relatif.

MÉMOIRE N° X

Sur la loi de Résistance des piliers d'acier déduite de l'expérience pour servir au calcul des tiges de piston, bielles, etc.

PAR

M. G. H. LOVE

ART. PREMIER. — *Exposé de la question. — Expériences.*

1. — L'acier est un métal difficile à expérimenter surtout à la compression, à cause de sa résistance supérieure à tous les corps que l'on voudrait lui donner pour assiette ou point d'appui, de telle sorte que l'on n'a jamais fait, jusqu'ici, aucune série d'expériences d'où l'on pût tirer une loi quelconque de résistance des piliers formés de ce précieux métal. Cela était d'autant plus à regretter que nous assistons chaque jour à un nouvel effort pour fabriquer l'acier en grand, et en substituer l'emploi à celui du fer dans les machines; et que, d'un autre côté, des données expérimentales assez complètes permettent déjà de l'employer économiquement dans tous les cas où il est appelé à résister à la traction comme tirants, chaînes et chaudières à vapeur. Il était donc à désirer que cette regrettable lacune fût comblée le plus tôt possible. Pour arriver à ce résultat, il fallait trouver un industriel qui voulût bien faire les frais des expériences, et en même temps en imaginer d'une espèce telle que la difficulté signalée précédemment pût être tournée, sans que pour cela les résultats obtenus cessassent d'avoir leur utilité pratique.

En ce qui concerne ce dernier point, réfléchissant à cette cir-

constance importante que des piliers ayant leurs extrémités arrondies offraient une résistance notablement inférieure à celle des piliers ayant leurs extrémités plates ou encastrées, résistance qui, pour les piliers longs, n'est que le tiers de ces derniers ; me rappelant, en outre, que la résistance des piliers en fer et en fonte était représentée par une courbe parabolique que trois points suffisamment éloignés permettaient de déterminer d'une manière satisfaisante, j'ai pensé, d'une part, que je tournerais la difficulté présentée par la résistance limitée des points d'appui et de l'appareil, en expérimentant simplement sur des piliers à extrémités arrondies ; et, d'autre part, que j'obtiendrais plus facilement que les expériences fussent faites, en les réduisant au nombre strictement nécessaire pour tracer la courbe dont il vient d'être question.

Le problème ramené à ces termes, je m'adressai à MM. Gouin et Lavalley à qui je dois encore plusieurs séries d'expériences intéressantes sur la résistance à la compression des sphères et des cylindres, dont je rendrai compte prochainement à la Société ; et ces ingénieurs, désireux comme moi d'être éclairés sur cette importante question, mirent avec empressement à ma disposition tout ce qui m'était nécessaire pour l'objet que j'avais en vue.

2. — En conséquence, trois cylindres en acier de Sheffield (Turton), de *un* centimètre de diamètre, tournés avec soin, et aux extrémités arrondies, furent soumis à l'expérience. Le premier avait 10 centimètres de longueur, le second 20 et le troisième 30; ce qui donne des rapports du diamètre à la longueur suffisamment éloignés pour tracer une courbe de résistance renfermant tous les cas pratiques sur lesquels il importe d'être fixé.

Une expérience préliminaire à la traction sur un barreau de

même provenance et d'une longueur de 22 centimètres, avait donné les résultats suivants :

Résistance par centimètre quarré de section 7630 kilogr. (1).

Allongement final $1^{m},32$.

3. — Cette expérience avait pour but de fixer un point de départ pour établir, s'il était possible, le rapport des résistances à la traction et à la compression de l'acier, afin de pouvoir déduire, ainsi que je l'ai fait pour le fer et la fonte d'après les expériences de M. Hodgkinson, la résistance à la compression, de la résistance à la traction. L'établissement de ce rapport, qui présente un grand intérêt pour la fonte dont les résistances élevées à la compression nécessitent des appareils d'une grande force, importe encore plus pour l'acier qui, outre une résistance à la compression quelquefois supérieure à la fonte, présente, comme le fer, dans les phénomènes qui accompagnent la compression, des particularités qui rendent difficile de déterminer le point exact où le maximum de sa résistance à la compression est atteint. Ce que l'on peut présumer de quelques tentatives faites, c'est qu'ainsi que pour le fer (2) la résistance de l'acier à la compression se rapproche beaucoup de la résistance à la traction. On verra tout à l'heure cette présomption se fortifier par l'examen des expériences dont je vais rendre compte. Voici d'abord le tableau de ces expériences.

(1) Cette résistance se rapproche beaucoup de celle de 7704 trouvée par M. Tenbrinck dans un acier de même provenance et qu'il donne comme un acier peu flexible, cassant et prenant la trempe à un haut degré, ce qui le rend particulièrement propre à la fabrication des outils (Voir mon ouvrage sur la résistance de la fonte du fer et de l'acier, p. 177).

(2) Pour le fer, en effet, le rapport des deux résistances est de 1,10 à 1,20.

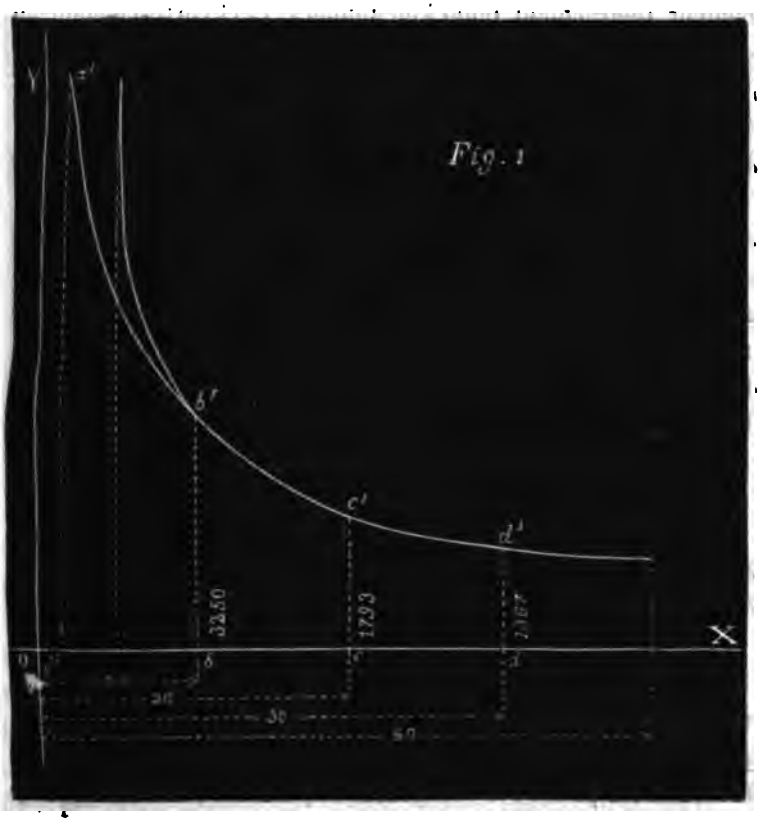
(Tableau n° 1).

N°s des piliers	Dimensions en centimètres		Charges sous lesquelles les piliers ont cédé		OBSERVATIONS
	Diamètre	Longueur	Par cent. carré	Totales	
1	1	10	4140	3250	Ce pilier s'est rompu dans un sens perpendiculaire au levier, en projetant un coin de fracture de l'intérieur de la courbure. Il avait déjà supporté une charge de 2000 dans une épreuve précédente. Cassure fine. (1)
2	1	20	3460	2723	Le pilier a fléchi du côté opposé au point d'appui du levier. Les extrémités sont restées sans déformation. La partie courbée n'offre aucune gerçure.
2 *bis*	1	20	2285	1793	L'expérience précédente ayant offert un résultat très-élevé a été recommencée. Le nouveau barreau a ployé comme le précédent.
3	1	30	1740	1367	Le pilier a fléchi à gauche sous le point d'appui du levier. Mêmes observations pour le reste qu'au n° 2.

4. — Pour un acier qui présente une constance remarquable dans sa résistance, ainsi que l'attestent les résultats obtenus à la traction à quelques années de distance, et par deux expérimentateurs différents, il y a lieu de s'étonner de l'écart considérable offert par les n°s 2 et 2 *bis*. Je ne puis l'attribuer qu'à une erreur commise dans la supputation du poids. En tous cas, j'ai pensé qu'il ne serait pas rationnel de prendre la moyenne des deux résultats, l'un des deux devant nécessairement être une anomalie, et j'ai dû naturellement dans les essais qui vont suivre, et pour aborder dans le sens de la sécurité, commencer par prendre le chiffre le plus faible des deux.

Ayant tracé deux axes rectangulaires OX et OY, j'ai porté en abscisses trois longueurs *ob*, *oc*, *od*, égales respectivement aux rapports $\frac{L}{D}$ de la longueur au diamètre des trois piliers expérimentés.

Fig. 1.



Puis des points, *b*, *c*, *d*, j'ai élevé trois ordonnées *b b'*, *cc'*, *dd'*, représentant les charges sous lesquelles les piliers ont fléchi, et j'ai réuni ensuite les points obtenus par une courbe *b' c' d'*. En pre-

longeant ensuite cette courbe, à gauche, jusqu'à l'ordonnée $a\,a'$ correspondant à deux abscisses, l'une égale à 1 1/2, l'autre égale à 5 1/2 qui sont les limites des rapports $\frac{L}{D}$ entre lesquels se trouve comprise la résistance maximum à la compression du fer et de la fonte, entrant dans l'expression de la résistance des piliers, j'ai obtenu deux courbes dont une seulement aboutit sans jarret à une hauteur représentant 6000 kilogrammes (1) et correspondant au port $\frac{L}{D} = 5\ 1/2$; c'est celle que j'ai choisie. Ce résultat vient à l'appui de l'idée émise précédemment que, dans l'acier en question, *la résistance maximun à la compression est égale à la résistance à la traction*.

La régularité de la courbe obtenue, sa concordance avec l'hypothèse de l'égalité des résistances à la traction et à la compression, montrent que le résultat le plus faible obtenu sur les piliers 2 et 2 *bis* est bien celui qu'il fallait prendre et que l'autre est une anomalie. Je ne m'en occuperai pas davantage, et je procéderai immédiatement à la recherche de la formule de la résistance des piliers d'acier fort, en admettant que la résistance maximun C à la compression est de 7650 kilogrammes.

Art. 2. *Recherche de la formule représentant les résultats précédents. — Comparaison des piliers en acier avec des piliers en fer et en fonte.*

5. — On se rappellera que cette formule résulte du rapprochement des valeurs $\frac{L}{D}$ de ces piliers et de celles des rapports du produit de la résistance maximum à la compression de l'acier par la section des piliers à la charge sous laquelle les piliers ont fléchi,

(1) Ce chiffre est le produit de 7650 kil. par la section du pilier qui est de $0{,}785 \times 1^2$.

c'est-à-dire $\frac{68}{P}$; ces valeurs sont pour les trois piliers expérimentés :

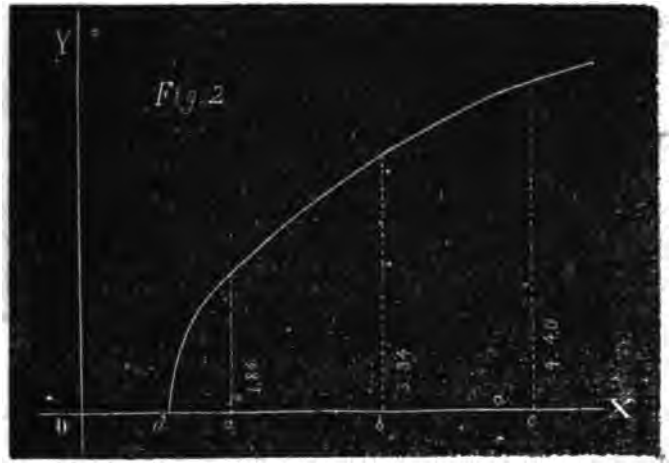
$$1^{er}\ \text{Pilier}\ \frac{L}{D} = 10;\quad \frac{CS}{P} = \frac{7650 \times 3{,}785 \times 1^2}{3250} = \frac{6000}{3250} = 1{,}845.$$

$$2^{e}\ \text{Pilier}\ \frac{L'}{D} = 20;\quad \frac{CS'}{P'} = \frac{7650 \times 0{,}785 \times 1^2}{1793} = \frac{6000}{1793} = 3{,}34.$$

$$3^{e}\ \text{Pilier}\ \frac{L''}{D} = 30;\quad \frac{CS''}{P''} = \frac{7650 \times 0{,}785 \times 1^2}{1367} = \frac{6000}{1367} = 4{,}40$$

Cela fait, j'ai pris, de nouveau, deux axes rectangulaires OX et OY sur lesquels j'ai porté en abscisses les rapports $\frac{L}{D}$, et en ordonnées les valeurs de $\frac{CS}{P}$; et j'ai obtenu une courbe parabolique à axe horizontal (1), et rencontrant l'axe des x à une distance Od égale à 5,50.

Fig. 2.



La courbe en question est représentée par l'équation

$$x = ay^m + b$$

dans laquelle $b = 5{,}50$.

Tirant de là, pour chaque pilier, une valeur de a, après avoir fait m égal à 2, on obtient :

$$a = \frac{x-b}{y^2},$$

Et par suite

1er Pilier $a' = \dfrac{10 - 5{,}50}{1{,}845^2} = \dfrac{4{,}50}{3{,}40} = 1{,}32$

2e Pilier $a'' = \dfrac{20 - 5{,}50}{3{,}34^2} = \dfrac{15{,}50}{11{,}15} = 1{,}39$

3e Pilier $a''' = \dfrac{30 - 5{,}50}{4{,}40^2} = \dfrac{24{,}50}{19{,}36} = 1{,}26$

$3{,}97$

d'où il suit que la moyenne des valeurs de a est de. . . . . $1{,}32$

et par conséquent

$$x = 1{,}32 \times y^2 + 5{,}50$$

remplaçant x et y par leurs valeurs $\dfrac{L}{D}$ et $\dfrac{CS}{P}$, il vient :

$$\frac{L}{D} = 1{,}32\left(\frac{CS}{P}\right)^2 + 5{,}50$$

$$P^2\left(\frac{L}{D} - 5{,}50\right) = 1{,}32 \times (CS)^2$$

$$P^2 = (CS)^2 \frac{1{,}32}{\dfrac{L}{D} - 5{,}50}$$

$$\text{et enfin } P = CS\sqrt{\frac{1,32}{\frac{L}{D} - 5,50}} \quad (A).$$

6. — Si l'on fait l'application de cette formule aux trois piliers on trouve :

$$1^{o}\ P = 7630 \times 0,785 \times 1^{2}\sqrt{\frac{1,32}{10 - 5,50}} = 3260;$$

$$2^{o}\ P = 7630 \times 0,785 \times 1^{2}\sqrt{\frac{1,32}{20 - 5,50}} = 1860;$$

$$3^{o}\ P = 7630 \times 0,785 \times 1^{2}\sqrt{\frac{1,32}{30 - 5,50}} = 1392.$$

Résultats qui se rapprochent autant qu'on peut le désirer en pratique des charges 3250, 1793 et 1367 sous lesquelles les piliers ont cédé dans les expériences.

7. — Maintenant, pour juger de l'avantage que des piliers en acier peuvent présenter sur des piliers en fer et en fonte de mêmes dimensions, il faut calculer les résistances offertes par des piliers de ces deux métaux, ayant aussi les extrémités arrondies, et les mettre en regard dans un même tableau avec les résultats précédents :

Pour cela j'ai déduit des nombreuses expériences de M. Hodgkinson la formule suivante, exprimant le rapport entre la résistance de piliers de mêmes dimensions, mais dont l'un aurait les extrémités arrondies et l'autre plates :

$$\frac{P}{P'} \text{ ou } R = \frac{1,30 + 0,0127\ \left(\frac{L}{D}\right)^{2}}{1,45 + 0,00337\ \left(\frac{L}{D}\right)^{2}}$$

On tire de là, pour des valeurs

de $\frac{L}{D}$ égales à 10, 15, 20, 25, 30, 35,

des valeurs de R de 1,44-1,875-2,28-2,55-2,84-3,03

au delà de 35 le rapport en question s'éloigne très-peu de 3.

En multipliant par les rapports correspondants les résistances des piliers en fonte et en fer figurant au tableau que j'ai donné dans mon mémoire imprimé par la Société année 1851, § 37 (1), on obtient les résultats suivants :

(Tableau n° 2).

DÉSIGNATION des MÉTAUX	CHARGES DE RUPTURE POUR DES RAPPORTS DE LA LONGUEUR AU DIAMÈTRE ÉGAUX A							OBSERVATIONS
	1 1/2 à 5	10	20	30	40	50	60	
Fonte. . . .	8000 kil.	3100	1550	782	375	260	191	Les résultats pour l'acier ont été calculés par la formule (A) que l'on a dû trouver et divisép r 0,785 pour se rapporter à des piliers de 1 cent. carré de section comme les autres
Fer.	4000 kil.	1731	1000	705	562	472	397	
Acier. . . .	7630 kil.	1150	2370	1780	1500	1320	1192	

On voit par là qu'entre les rapports où se renferme la pratique, et qui sont compris entre des valeurs de $\frac{L}{D}$ de 10 à 40, l'acier de bonne qualité, à peu près analogue aux meilleurs de ceux que M. Gouvy produit pour tiges de piston, présente une résistance

(1) Je profite de cette circonstance pour faire observer qu'il s'est glissé une erreur dans un des nombres de ce tableau. La résistance d'une colonne en fonte de 1 cent. quarré de section et de 50 cent. de longueur n'est pas de 1013, mais 810 seulement. En même temps, je relèverai une autre erreur commise dans le même mémoire § 71. A la ligne 26, il faut substituer à ce qui existe 13 pieds, 6 pouces. A la ligne suivante et à l'avant-dernière les hauteurs de chûte sont des *pouces* et non des *pieds*.

au moins double de celle du fer. Ce qui confirme le parti que l'on a pressenti pouvoir tirer de la substitution de l'acier au fer dans les machines.

8.—Toutefois, il convient de ne pas perdre de vue que ce résultat ne paraît pas pouvoir être atteint avec des aciers présentant une résistance à la traction inférieure à 7600 kilogrammes environ ; et avant de faire l'application d'aciers doux, d'une résistance moindre, il serait indispensable de procéder à une expérience analogue à celle qui a formé la base de ce mémoire. Au reste cette expérience est tellement simplifiée par la marche que j'ai suivie, que j'en tire l'espoir que tous les fabricants voudront faire des expériences semblables. En tous cas les ingénieurs, y étant pour le moins aussi intéressés qu'eux, feraient bien de les prescrire et de n'admettre pour bielles et tiges de piston de machines que des aciers ayant offert une résistance au moins égale à l'acier Turton de Sheffield ; ce qui permettrait de faire une économie de 30 p. 0/0 sur le poids du métal employé.

ART. 3. — *Recherche de formules applicables à des piliers à extrémités plates à section cylindrique, carrée ou rectangulaire.*

9. — Pour compléter ce sujet autant que le permettent les données expérimentales à ma disposition, je rapporterai trois expériences faites par M. Hodgkinson sur trois piliers cylindriques de fortes dimensions, faits du meilleur acier du Staffordshire (1). Ces piliers avaient les dimensions suivantes :

Longueur L = 76 cent. 057. — Diamètre D = 2 cent. 21.

Il s'en suit que le rapport $\frac{L}{D} = 34$ et la section S = 3,85.

(1) *Philosophical Transactions*, tableau 12, p. 452, année 1840.

Les résistances obtenues ont été les suivantes :

(Tableau n° 3).

N° D'ORDRE	Cylindres en acier fondu non trempés	RÉSISTANCES	Résistances rapportées au 3e pilier	OBSERVATIONS
1	A extrémités arrondies. . .	4768 kil.	2,48	Le pilier a supporté cette charge pendant quelques minutes et s'est ensuite affaissé par degrés en ployant. Les extrémités ont été légèrement *aplaties* par la pression.
2	Une extrémité arrondie et l'autre plate .	9111 kil.	1,30	L'extrémité ronde s'est *aplatie* légèrement. La plus grande courbure s'est manifestée entre le $\frac{1}{3}$ et la $\frac{1}{2}$ de la longueur à partir de l'extrémité arrondie.
3	A extrémités plates.	11815 kil.	1,00	Le pilier a soutenu cette charge pendant cinq minutes. Les extrémités ne se sont pas fendues, comme cela arrive fréquemment, quoique faiblement, dans le fer et la fonte.

10. — Je ferai d'abord remarquer que le rapport des résistances des piliers 1 et 3 n'est que de 2,48, tandis que, d'après ce qui a été dit § 7, ce rapport devrait être 3. Mais il importe de remarquer que le pilier n° 1 n'a cédé qu'après un certain aplatissement des extrémités arrondies, fait qui ne peut se produire sans changer les conditions de résistance du pilier, sans augmenter cette résistance. Si bien que l'on peut dire en toute sûreté que le chiffre 4760 est trop fort, et que vraisemblablement la résistance qu'eût présenté le pilier, si ses extrémités fussent restées rondes, n'eût été, en réalité, que le tiers de 11815, soit de 4000 kil. seulement en nombre rond.

[redacted] qui, d'a[redacted]e résultant des expériences de M. Hodgkinson, devra être une moyenne arithmétique entre les résistances présentées par les deux autres.

Quoi qu'il en soit, en ce qui concerne les résultats des piliers 1 et 3, on peut dire que l'expérience confirme suffisamment, pour l'acier comme pour la fonte, le fait du rapport des résistances présentées par deux piliers, dont l'un aurait les extrémités plates et l'autre rondes; de telle sorte que, après avoir déterminé la résistance que présenterait un pilier d'acier à extrémités arrondies par la formule (A), on aurait celle d'un pilier à extrémités plates en multipliant le résultat obtenu par le rapport

$$\frac{1{,}30 + 0{,}0127\ \left(\frac{L}{D}\right)^2}{1{,}45 + 0{,}00337\ \left(\frac{L}{D}\right)^2}.$$

11.—Mais il est plus simple, en partant de cette nouvelle donnée, de déterminer directement la formule spéciale aux piliers d'aciers à extrémités plates. Cela est, d'ailleurs, nécessaire pour arriver sans trop de tâtonnements à déterminer le diamètre d'un pilier de cette espèce capable de supporter un poids déterminé, problème qui se présente justement dans le cas de la tige d'un piston.

Pour cela, je prendrai les trois résultats de la dernière colonne du § 6, p. 127, qui sont ceux du calcul des trois piliers expérimentés par mes soins, c'est-à-dire 3260, 1860 et 1391, et je les multiplierai respectivement par les nombres 1,44, 2,28 et 2,84 du § 7, qui sont les rapports des résistances des piliers à extrémités plates à ceux arrondis pour des longueurs égales à 10, 20 et 30 fois le diamètre; et j'obtiens ainsi les trois nouveaux nombres.

4700 — 4204 — 3950.

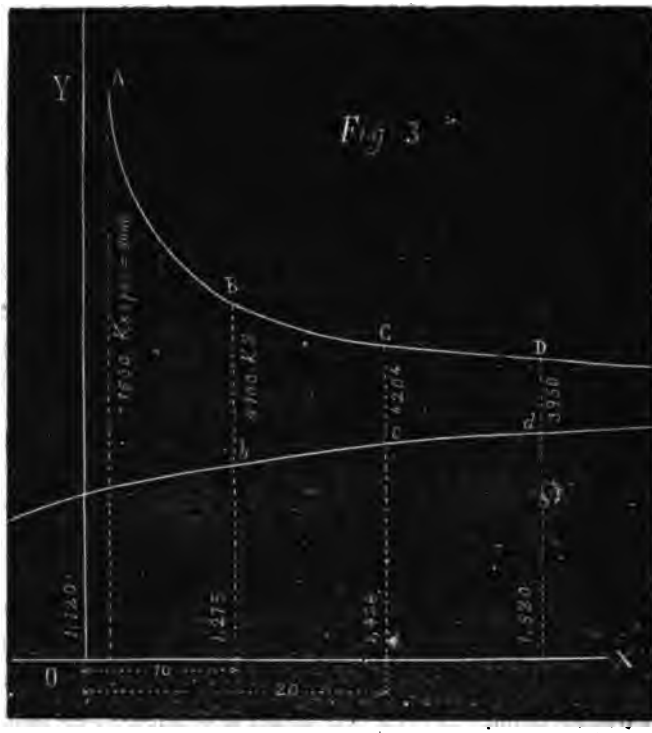


Fig 3

En portant ces quantités en ordonnées, sur deux axes *ox* et *oy*, correspondant aux abscisses $\frac{L}{D}$, 10, 20 et 30, on obtient encore une courbe ABCD qui va se terminer à une ordonnée de 6000 (1) pour laquelle $\frac{L}{D}$ est égale à 1 1/2 seulement.

Les valeurs de $\frac{CS}{P}$ nécessaires à l'établissement de la courbe dont la formule doit être déduite sont les suivantes :

$$1^{\circ}\ \frac{CS}{P'} = \frac{7630 \times 0{,}785 \times 1^2}{4700} = \frac{6000}{4700} = 1{,}275$$

$$2^{\circ}\ \frac{CS}{P'} = \frac{7630 \times 0{,}785 \times 1^2}{4700} = \frac{6000}{4204} = 1{,}426$$

$$3^{\circ}\ \frac{CS}{P''} = \frac{7630 \times 0{,}785 \times 1^2}{3950} = \frac{6000}{3950} = 1{,}520$$

En portant ces résultats en ordonnées sur la même figure, on obtient la courbe parabolique *bcd*, qui va couper l'axe des x négatives, dont l'équation a la forme

$$x = ay^m - b$$

dans laquelle il s'agit de déterminer les valeurs de a, b et m; en traçant la courbe à la main et après quelques tâtonnements, on arrive à trouver que la valeur convenable de b est 35, m étant égale à 2. On tire, en effet, de l'équation où l'on a mis pour ces deux lettres les nombres précédents, les valeurs suivantes de a répondant aux trois points de la courbe :

$$a' = \frac{10 + 35}{(1{,}275)^2} = \frac{35}{1{,}60} = 28{,}00$$

$$a'' = \frac{20 + 35}{(1{,}426)^2} = \frac{55}{2{,}02} = 27{,}50$$

$$a''' = \frac{0 + 35}{(1{,}52\ )^2} = \frac{65}{2{,}31} = 28{,}10$$

dont la somme est 83,60
et la moyenne 27,86
soit en nombre rond . . . . . 28,00.

On a donc

$$x = 28 \times y^2 - 35 ; \text{ ou bien } \frac{L}{D} = 28 \left(\frac{C \times S}{P}\right)^2 - 35$$

d'où l'on tire enfin

$$P = C\,S \sqrt{\frac{28}{\frac{L}{D} + 35}} \qquad (B)$$

12. — En appliquant cette formule aux trois cas déduits de l'expérience on trouve :

$$P' = 7630 \times 0{,}785\, l^2 \sqrt{\frac{28}{10 + 35}} = 6000\, l^2 \sqrt{0{,}62} =$$

= 4750 au lieu de 4700,

$$P'' = 7630 \times 0{,}785\, l^2 \sqrt{\frac{28}{20 + 35}} = 6000\, l^2 \sqrt{0{,}31} =$$

= 4280 au lieu de 4204,

$$P''' = 7630 \times 0{,}785\, l^2 \sqrt{\frac{28}{30 + 35}} = 6000\, l^2 \sqrt{0{,}47} =$$

= 3930 au lieu de 3950,

résultats qui se rapprochent beaucoup de ceux qui ont servi à édifier la formule.

13. — Pour compléter l'ensemble des formules applicables aux piliers d'acier, il faudrait avoir celles relatives aux piliers carrés ou rectangulaires. Les expériences de M. Hodgkinson sur de longs piliers en fonte, que je produirai dans une autre occasion, font voir que le rapport des résistances d'un pilier rectangulaire et d'un pilier circulaire inscrit au premier est égal à 1,55. Cette aug-

mentation considérable est due à la fois au surcroit de section du pilier carré et à cette circonstance remarquable que le pilier carré fléchit aussi, non pas dans une direction perpendiculaire à l'une de ses faces, mais dans celle de la diagonale. Si l'on admet que les choses doivent se passer de la même manière pour les piliers d'acier, les formules A et B transformées par ce rapport deviennent, en désignant par D le côté de la section pour un pilier carré à extrémités plates,

$$P = CS\sqrt{\frac{28}{\frac{L}{D}+35}} \times 1{,}53 = 1{,}20 \times CD^2\sqrt{\frac{28}{\frac{L}{D}+35}} \quad (C),$$

à extrémités arrondies,

$$P = CS\sqrt{\frac{1{,}32}{\frac{L}{D}-5{,}50}} \times 1{,}53 = 1{,}20 \times CD^2\sqrt{\frac{1{,}32}{\frac{L}{D}-5{,}50}} \quad (D),$$

Lorsque le pilier est rectangulaire il peut se présenter trois cas : 1° celui où sa section diffère peu de la forme carrée, et, dès-lors, la formule à appliquer est celle du pilier carré ; 2° celui où, les deux côtés de la section étant très-différentes, le pilier par la forme de ses extrémités tendrait à se ployer dans le sens du plus petit côté. Dans ce cas la formule à laquelle on doit avoir recours est celle du pilier cylindrique dont le diamètre serait égal au petit côté de la section rectangulaire, en remplaçant, bien entendu la surface du cercle par celle du rectangle; 3° enfin celui où, toujours par suite de la forme de ses extrémités, le pilier offrirait son minimum de résistance dans le sens du plus grand côté. Dans ce cas, rien ne s'oppose à ce que le pilier fléchisse dans le sens de la diagonale. La formule à appliquer paraît devoir être celle des piliers cylindriques dans laquelle, au lieu de la dimension latérale, on mettrait

celle de la diagonale. Les résultats qu'elle donne, ainsi qu'on le verra plus loin, ne diffèrent pas beaucoup de ceux que l'on tire de la formule des piliers carrés.

14. — Comme j'aurai occasion plus loin de faire des calculs comparatifs sur la résistance de piliers en acier et en fer de mêmes dimensions, je rappellerai ici les formules relatives aux piliers en fer dont je ferai connaître l'origine dans un autre mémoire que je prépare pour la Société.

Piliers cylindriques en fer

à extrémités plates $$P = \frac{CS}{1{,}55 + 0{,}0005\left(\frac{L}{D}\right)^2} \quad (E)$$

à extrémités arrondies $$P = \frac{CS}{0{,}0012\left(35+\frac{L}{D}\right)^2} \quad (H)$$

En ce qui concerne le fer, l'expérience fait voir que le pilier carré fléchit indifféremment dans le sens de la diagonale ou dans le sens perpendiculaire aux faces, et qu'il ne présente pas une plus grande résistance dans un cas que dans l'autre (1). Ici donc la formule du pilier cylindrique semble devoir s'appliquer à tous les cas, en prenant seulement la précaution de remplacer au numérateur la section du cercle par celle du carré ou du rectangle présentée par le solide. Il est utile de faire observer, d'ailleurs, que la formule fondamentale a été déduite d'expériences nombreuses sur des piliers carrés et rectangulaires.

(1) Le même fait pourrait se présenter pour l'acier dans une certaine mesure. Il serait donc à désirer que les formules que j'ai données par induction pour les piliers d'acier à section carrée fussent vérifiées par l'expérience directe.

Art. 4. — *Applications.*

13. — Pour permettre de juger l'état des connaissances actuelles sur ce sujet, je transcrirai en entier le passage de la dernière édition du *Guide du mécanicien constructeur et conducteur des machines locomotives* (p. 168) se rapportant à la manière dont quelques ingénieurs procèdent encore aujourd'hui à la détermination du diamètre d'une tige de piston. Voici le passage en question :

« Les tiges de piston doivent être parfaitement cylindriques « dans toute leur étendue ; leur diamètre varie de 0,06 à 0,08 ; « *on peut* calculer cette dimension au moyen de données expé- « rimentales qui indiquent à quelle limite se rompt une barre de « fer ou d'acier soumise à un *effort de traction longitudinale.* « D'après M. Poncelet, la résistance du fer forgé suivant la qua- « lité et l'échantillon varie de 6000 à 2500 par centimètre carré « et *peut être prise en moyenne à* 4000 *kilog.* Celle de l'acier « trempé varie de 10000 kil. à 3600 kil. et *peut être prise en* « *moyenne à* 7500 *kil. par cent carré.* Dans la pratique on ad- « met, en général, qu'on ne doit pas porter la charge habituelle au « delà de $\frac{1}{6}$ ou $\frac{1}{7}$ de la résistance indiquée ci-dessus, pour tenir « compte des défauts de structure qui échappent à l'œil, des chocs « et autres actions anormales que les tiges peuvent avoir à sup- « porter. Nous adopterons en conséquence, pour la résistance « réduite qu'il convient d'appliquer dans la pratique :

« Pour le fer. . . . . 560 kil.

« Pour l'acier. . . . . 1000 kil.

« Si l'on suppose un cylindre de 0,40 de diamètre recevant de la « vapeur à la tension de 7 atm., dont le piston supporte par con- « séquent une pression de 6 atmosphères ou 6 kil. par cent. carré

« ou en totalité de 7791 kil., il sera nécessaire de donner à la tige « du piston, si elle est en fer, une section de $\frac{7791}{560} = 14^{c}\,916$. « et si elle est en acier de. . . . $\frac{7791}{1000} = 7^{c}\,79$

« Les diamètres correspondants seraient pour le fer forgé. $0^{m}430$ « pour l'acier. . . . . $0^{m}131$

« Dans la construction des machines locomotives où l'inertie « du piston, soumis à des mouvements très-rapides, augmente « dans certaines parties de la course l'effort supporté par la tige, « où des vices de montage peuvent encore accroître la fatigue « qu'elle éprouve, *il convient de forcer ces dimensions;* il serait « prudent pour le cas que nous avons choisi d'augmenter de $0^{m}01$ « à $0^{m}02$ les dimensions calculées; c'est en effet ce que font les « constructeurs. Il faut remarquer, en outre, que des tiges trop « minces pourraient fléchir sous le poids du piston, ce qui occas- « sionnerait l'ovalisation du cylindre, et pourraient surtout fléchir « pendant le refoulement. On doit préférer l'acier qui, *indépen-* « *damment du moindre poids à résistance égale*, a l'avantage de « prendre un beau poli et de mieux se conserver que le fer ; des « tiges creuses en acier auraient une supériorité incontes- « table. »

16. — Cet article peut justement donner lieu à des critiques de plus d'un genre. En effet, après les nombreuses données nouvelles que les expériences faites en Angleterre et en France ont mises à notre disposition, on peut s'étonner de voir recourir d'abord pour des chiffres de résistance à un auteur des plus savants et des plus estimables sans doute, mais notablement en retard sur les données expérimentales ; et, cela fait, de prendre une moyenne entre des résultats variant *du simple au triple !*

En ce qui concerne ce mode de procéder, il importe de faire remarquer que c'est une application du système adopté pour les pres-

criptions administratives qui règlent l'emploi des métaux dans les constructions qui intéressent la sécurité publique; système qui ne tient aucun compte de la qualité et de la provenance du métal et qui, dans la dicussion sur les ponts suspendus, les chaudières et les machines, a été considéré, par les auteurs du *Guide* eux-mêmes, si je ne me trompe, comme étant de nature à proscrire dans les constructions l'emploi des bons matériaux et à abaisser de plus en plus le niveau de l'industrie métallurgique. Aussi, en écrivant le passage qui fait l'objet de ces réflexions, il faut admettre que les auteurs ont perdu un instant de vue les conséquences qui pouvaient en résulter. Je ne fais pas de doute pour mon compte que, si l'un ou l'autre avait des tiges de piston à faire exécuter, il ne prescrivit l'emploi d'un métal d'une qualité et d'une résistance déterminées et ne s'en assurât même par des essais. Mais alors pour être conséquent avec soi-même, pour prêcher d'exemple, il aurait fallu dire: « *Nous emploierions, dans ces circons-* « *tances, des fers et des aciers provenant d'usines recommandables* « *par la constance de leurs produits, et dont la résistance à la* « *traction sous le calibre de 4 à 5 centimètres ne serait pas in-* « *férieure à 3600 kil.* par centimètre carré pour le fer, à 7200 kil « pour l'acier. » Sans cela, le praticien ordinaire ne cherchant rien au delà de l'expression de la pensée, prenant naturellement pour guides les ingénieurs à la tête de la profession peut s'en tenir aux moyennes générales sans s'inquiéter, outre mesure, de la qualité et de la provenance. L'administration, voyant les ingénieurs et les industriels prendre leur parti de ses prescriptions qui rentrent dans l'ordre d'idées critiqué, peut croire qu'elles ne sont pas aussi mauvaises qu'on l'a dit à une certaine époque, et résister aux sollicitations faites pour les modifier.

Ce dernier point prend une certaine importance par le fait que l'administration est saisie d'une demande tendant à ce qu'il soit procédé à une enquête générale sur les matériaux du pays, analo-

gue à celle si utile faite en Angleterre, et à modifier ses prescriptions en conséquence. Une commission (1) a été nommée par M. le Ministre des travaux publics pour examiner cette question soulevée par une brochure que j'ai écrite sur ce sujet.

Dans cette situation et pour aboutir à une solution qu'appellent incessamment les industries qui emploient les métaux usuels, il y aurait un grand intérêt à ce qu'aucune dissidence grave ne s'élevât sur ce point, dans les écrits émanant des divers membres de cette Société, et à ce qu'au besoin une nouvelle discussion vînt de rechef éveiller la sollicitude de l'administration. Dans ce but, je mettrai à la disposition de la Société quelques centaines d'exemplaires de ma brochure dans l'espoir que le sujet que j'y ai traité attirera son attention, et qu'il se trouvera dans le nombre de ceux qui l'auront lue quelques membres pénétrés, comme moi, de l'importance de la question, et qui m'aideront de leur concours pour donner sur ce point à la profession un ensemble d'idées plus homogène, pour exciter le zèle de la commission ministérielle et l'amener à déposer son rapport, longtemps attendu, le plus tôt possible.

17. — Après ce qui précède, je ne suis encore qu'à moitié chemin dans la critique que je crois utile de faire du passage du *Guide du constructeur* où j'ai eu à reprendre un recours à un auteur vieilli, et une tendance à revenir aux moyennes générales de résistances; car en supposant que l'accord soit établi sur ces deux points, il me reste à demander si les auteurs du *Guide* ont cru

(1) Cette commission se compose de :
MM. Marrot, inspecteur général des mines,
Couche, ingénieur en chef des mines, professeur à l'école des mines,
Gruner, id. id.

donner une méthode sérieuse de calcul du diamètre d'une tige de piston, en recherchant purement et simplement le diamètre répondant à l'effort de traction subi par cette tige. Cela n'est pas possible pour plusieurs raisons : En premier lieu, je rappellerai la manière un peu vague qui a présidé au choix du chiffre de résistance, et par lequel on est arrivé aux diamètres de 0,043 pour le fer, de 0,031 pour l'acier ; résultats que pour des raisons discutables on conseille d'augmenter de 25 à 50 p. 0/0. Pourquoi pas de cent pour cent ? Le motif en est simple. Il est parfaitement clair que la tige de piston a été calculée *à l'œil* comme cela arrive fréquemment et avec assez de bonheur chez les praticiens exercés, et que le calcul de chiffres a été présenté purement et simplement par acquit de conscience.

Le second motif qui autorise à adopter cette interprétation, c'est qu'on ne peut admettre qu'il ait échappé à nos maîtres que la tige de piston était soumise à deux genres d'efforts, et que par suite, il fallait que le diamètre en fût calculé pour le cas le plus défavorable. Ces efforts sont : celui de *traction*, celui de *compression*. On trouve en effet, à la fin de l'article que je critique, que, pour justifier le conseil d'augmenter les résultats obtenus dans la proportion qui vient d'être rappelée, les auteurs donnent entre autres raisons que la tige *de piston pourrait fléchir pendant le refoulement*. Mais si le calcul n'en a pas été fait, qu'est-ce qui prouve que l'on peut compter sur le résultat ainsi obtenu ? Qui nous dit que dans la situation où se trouve la tige de piston, celle d'un pilier dont les extrémités ne peuvent tourner, sa résistance à la compression n'est pas supérieure à sa résistance à la traction ? — A défaut de calcul il n'y a encore que l'œil exercé du vieux praticien, ou le souvenir de tiges ayant fléchi qui puisse servir de guide. Mais ce moyen, on en conviendra, ne peut être celui de tout le monde ; et les auteurs du *Guide* eussent coupé court à toute difficulté s'ils s'étaient rappelés, ainsi que la plupart de ceux qui ont écrit sur la

matière (1), que j'avais donné dès 1851, dans un mémoire imprimé par la Société, un moyen très-simple de calculer une tige de piston en fer. Outre la lacune que laisse sur ce sujet un ouvrage d'un grand mérite et que regrettera le praticien, j'ai pour mon compte personnel le regret d'avoir perdu ainsi une occasion, de plus, de

(1) Mes formules sont en effet recommandées aux praticiens par le *Carnet des ingénieurs*, *Aide-mémoire* de M. Claudel, le *Traité des machines à vapeur* de M. Jullien, le *Traité de mécanique pratique* de M. le général Morin, et récemment par le grand ouvrage d'architecture de M. Léonce Reynaud, inspecteur général des ponts et chaussées. Je profite de cette occasion pour faire remarquer qu'en donnant et recommandant mes formules pour le calcul des colonnes en fer et en fonte M. Léonce Reynaud exprime l'opinion qu'elles ne sont applicables qu'à des piliers compris entre 30 et 120 fois le diamètre; c'est une erreur. Ces formules sont générales, et c'est un des points importants sur lequel elles diffèrent de celles de M. Hodgkinson qui propose deux formules, une pour les piliers compris entre 7 1/2 et 30 fois le diamètre, et une deuxième pour les rapports au-dessus.— La preuve de l'exactitude de la formule pour les piliers en fonte au-dessous de $\frac{L}{D} = 30$, c'est le rapprochement suivant entre les résultats d'expérience, et ceux calculés par ma formule :

Rapports $\frac{L}{D}$	3,85	—755,—	9,22	—13,72—	15,27—	19,82—	25,07—	29,81— 39,46
résultats d'exp.	10368kg.	—7920	—14512	—11753—	18249—	14420—	8262 —	9208— 8795
d° calculés	10923	—9183	—14337	—11936—	18513—	15557—	3000 —	9387— 8663

Cette approximation est aussi grande qu'on peut l'obtenir en pratique, aussi grande que celles résultant d'épreuves à la traction ou de toute autre espèce, et c'est encore à tort, selon nous, que l'auteur suppose (p. 121) que les expériences à la traction sont plus *nombreuses* et plus *concluantes*; elles sont peut-être plus nombreuses, et encore, après les nouvelles séries d'expériences de M. Hodgkinson sur cette question intéressante, c'est au moins un point douteux, du moins en n'ayant égard qu'aux expériences qui peuvent compter. Quant à être *concluantes*, les expériences sur les colonnes ne laissent rien à désirer, même sur la variation de résistance provenant du calibre, ainsi que je le montrerai dans un autre travail. Quant à la régularité des résultats obtenus, personne ne s'est plus appesanti sur ce point que je ne l'ai fait dans mon ouvrage sur la résistance et autres propriétés de la fonte, du fer, etc., et je puis affirmer que, sous ce rapport, les expériences à la compression ne se sont pas montrées inférieures aux autres. S'il y a une différence c'est plutôt en leur faveur.

voir mes formules recommandées par ceux dont le suffrage m'eût été particulièrement utile pour faire passer mes travaux dans la pratique courante.

18. — Je passe maintenant au calcul de la tige de piston, dont il a été question dans le passage qui a fait l'objet des observations précédentes.

Les expériences faites en Angleterre ont établi que toutes les fois qu'un solide était soumis à des efforts répétés *dans le même sens* accompagnés de chocs faibles et de vibrations, il fallait pour qu'il supportât indéfiniment ces efforts sans s'altérer et sans risquer de se rompre un jour sous l'effet de la charge normale habituelle, que sa résistance fût égale à environ six fois l'effort maximum auquel il pouvait être soumis. Dans le cas actuel, les efforts s'exercent tantôt dans un sens et tantôt dans un autre, et c'est se mettre du côté de la sécurité, d'admettre que cette circonstance est de nature à aggraver la position du solide et à conseiller l'admission d'un coefficient de sécurité plus élevé. Il faut ajouter à cela qu'une tige de piston est soumise à un frottement capable de l'user ou de la rayer, et qu'il peut y avoir utilité, pour ce dernier motif surtout, à lui donner un diamètre tel qu'on puisse au besoin la mettre sur le tour pour la rafraîchir un peu. Pour ces divers motifs je conseillerais l'adoption d'un coefficient de sécurité égal à 10. Par la suite, lorsque toutes les tiges de piston auront été faites d'un fer ou d'un acier d'une provenance sûre et d'une résistance connue, qu'ils auront tous été calculés, on pourra plus facilement se risquer à les amincir en les remettant sur le tour, et l'on sera bientôt nanti d'un grand nombre de renseignements sur les dimensions réduites de tiges de piston et le coefficient de sécurité auquel on aura pu descendre avec sécurité. Tandis que, dans l'état actuel des choses, peu d'ingénieurs paraissent s'être

occupés de savoir à quel taux de sa résistance absolue travaille cet organe de machine.

Un autre renseignement indispensable à rappeler, c'est la résistance maximum à la compression du fer sous l'échantillon qu'il offre habituellement dans une tige de piston. Il existe très-peu d'expériences sur la résistance maximum du fer à la compression ; mais de celles qui existent j'ai pu déduire, ainsi que je le montrerai dans un autre mémoire, que le rapport de la résistance à la compression et à la traction des bons fers de fort échantillon est d'environ de 1,10; qu'il est de 1,25 pour les fers moins résistants.

19. — D'après les expériences de M. Emile Martin, les plus complètes qui existent encore aujourd'hui sur des fers de fort échantillon, les fers anglais de qualité supérieure d'environ 4 cent. d'épaisseur offrent une résistance d'environ 3700 k.

Les bons fers du Berry, du Creusot et de Saint-Chamond de 4 à 6 centimètres de diamètre ont offert des résistances de 3400 k. à 3600. On peut donc admettre que l'on trouvera facilement et que l'on pourra imposer aux usines, pour la fabrication des pistons, des fers qui, sous leurs gros échantillons, présenteront une résistance à la traction de 3600 kilog., et par suite, d'après ce qui a été dit ci-dessus, une résistance maximum à la compression de 4000 kilog. Cela posé, les données du problème deviennent les suivantes :

Charge maximum sur le piston . . . . . 7791 kil.

Charge à introduire dans la formule,

$$P = 10 \times 7791 = 77910 \text{ kil.}$$

Résistance maximum à la compression du fer employé . . . . . 4000 kil.

Longueur libre maximum de la tige du piston.

Les auteurs du *Guide* ne la donnent pas. Mais, s'il s'agit du cylindre d'une machine, on peut la supposer de . . 60 cent.

20. — La formule relative au cas actuel est celle d'un pilier dont les deux extrémités ne peuvent tourner. C'est celle qui figure sous le n° 18, dans les mémoires de la Société de 1851, page 197.

$$P = \frac{CS}{155 + 0.0035\left(\frac{L}{D}\right)^2} \qquad (1)$$

En résolvant cette formule par rapport à D on a :

$$D^2 = \frac{1.55\,P}{2 \times 0.785C} \pm \sqrt{\frac{0.0005PL^2}{0.785C} + \left(\frac{1.55P}{2 \times 0.785C}\right)}$$

$$D^2 = 0.987\frac{P}{C} \pm \sqrt{0.000637\frac{P}{C}L^2 + \left(0.987\frac{P}{C}\right)}$$

$$0.987\frac{P}{C} = 19.48 \times 0.987 = 19.22$$

$$\left(0.987\frac{P}{C}\right)^2 = 370$$

en nombre ronds

$$0.000637\frac{P}{C}L^2 = 0.000637 \times 19.48 \times 3600 = 0.000637 \times$$

$$\times\ 70000 = 38.59$$

$$D^2 = 19.48 + \sqrt{38.59 + 370} = 19.48 + 20.02 = 39.50$$

$$D = \sqrt{39.50} = 6^{\text{cent}}\ 30$$

21. — Pour voir s'il ne s'est pas glissé d'erreur dans le calcul, il est toujours utile de résoudre la formule ci-dessus par rapport à P en y introduisant le diamètre trouvé :

$$\frac{L}{D} = \frac{60}{6.30} = 9.50 \text{ et } \left(\frac{L}{D}\right)^2 = 90.250$$

$$P = \frac{4000 \times 0.785 \times 39.50}{1.55 + 0.0005 \times 90.25} = \frac{4000 \times 31}{1.55 + 0.045} = \frac{124000}{1.595} = 77800 \text{ kil.}$$

résultat aussi approché que possible de la charge décuplée sur le piston, et qui prouve que le diamètre obtenu de 6,30 a été bien calculé.

Avec ce diamètre, la tige de piston présenterait une résistance à la traction de

$$R = 0.785 \times 39.50 \times 36000 = 31 \times 3600 = 112000 \text{ kilog.}$$

ce qui montre combien il importait de déterminer le diamètre de la tige du piston par rapport à la résistance à la compression, car, tandis que, dans ce dernier cas, elle travaille au dixième de sa résistance absolue, elle ne travaille à la traction qu'au quarorzième.

22. — Si, maintenant, l'on veut savoir quel serait le diamètre d'une tige de piston en acier résistant à la traction à 7630 kil., acier dont approchent beaucoup les meilleurs échantillons des aciers Gouvy pour tige de piston dont j'ai rendu compte dans mon livre sur la résistance du fer, de la fonte et de l'acier, p. 176, il suffit de prendre la formule (B)

$$P = CS\sqrt{\frac{28}{\frac{L}{D} + 35}}$$

seulement on remarquera que si l'on veut résoudre cette formule par rapport à D, on tombe sur une équation du 5e degré; et dès lors ce qu'il y a de mieux à faire, c'est de la résoudre par rapport

à P en prêtant diverses valeurs à D, jusqu'à ce que l'on tombe sur la valeur exacte de la charge décuplée. En commençant toujours par chercher quel serait le diamètre d'une tige en fer, on obtient un premier chiffre au-dessous duquel il faut se maintenir dans les diverses valeurs que l'on peut donner à D. Appliquant cette méthode de calcul, j'ai commencé par supposer D = 4, et j'ai trouvé P = 72000^k au lieu de 77910. Puis ayant fait D = 4,50 j'ai trouvé P = 94500. La valeur cherchée était donc entre les deux précédentes, plus près de la première que de la seconde; j'ai donc essayé successivement 4,20 et 4,15, et ce dernier diamètre m'a donné

$$P = 103000 \sqrt{\frac{28}{14.50 + 35}} = 103000 \sqrt{0.65} = 103000 \times$$

$$\times\ 0.752 = 77500 \text{ kilog.}$$

résultat suffisamment approché de celui cherché.

La formule étant d'une forme très-simple, on obtient en quelques minutes et malgré ces tâtonnements, la solution que l'on cherche, pourvu que l'on se serve de la règle à calcul dont on ne saurait trop recommander l'emploi dans ces sortes d'opérations.

23. — Il ne faut pas perdre de vue que, dans les applications que je viens de faire, je suppose l'emploi d'un fer ou d'un acier d'une provenance connue et que je repousse toute moyenne, excepté celle de matériaux de même provenance; et encore, si les produits d'une usine étaient connus comme offrant une grande inégalité dans leur résistance, je conseillerais de prendre le résultat le plus faible. Il faut cependant excepter le cas où l'on aurait opéré sur des échantillons minces provenant d'une barre de fort calibre. Ainsi que je l'ai dit ailleurs, les circonstances accessoires ca-

pables de faire varier la résistance ont d'autant plus d'effet que l'échantillon est plus faible, et, dans ce cas, une forte barre pouvant être considérée comme la réunion de plusieurs petites, sa résistance est bien une moyenne de celles-ci.

24. — Je terminerai cet article par l'examen de la tige de piston de la machine mixte du chemin de fer du Midi.

Cette tige de piston est d'un acier dont je ne connais pas la provenance, elle a un diamètre de 6 centimètres pour une longueur libre au moment du maximum de pression de 0,60, comme la précédente. Le diamètre du piston étant de 0^m42 et la pression effective au départ étant de six atmosphères, la pression sur le piston est de 8300k. dont le décuple est de 83000k. M. Windisch, qui s'est occupé beaucoup des détails de la construction de la machine en question, m'a dit avoir calculé le diamètre de la tige de piston dans l'hypothèse qu'elle serait en fer d'une bonne qualité, et qu'il était arrivé au résultat rapporté ci-dessus; et que, cela fait, on avait employé une tige d'acier en maintenant le diamètre trouvé. Comme il y a des aciers dont la résistance ne dépasse pas celle du fer de bonne qualité et que l'on n'a pas encore pris l'habitude d'astreindre les constructeurs à l'emploi d'aciers de provenances connues et de résistances déterminées, le parti auquel se sont arrêtés les ingénieurs du Midi est justifié dans une certaine mesure ; et pour eux, sans doute, l'introduction de l'acier n'avait pas d'autre objet que de remplacer le fer par un métal moins oxidable et susceptible de recevoir un poli plus parfait, ce qui a son importance au point de vue du frottement ; de telle sorte que la seule chose à vérifier, c'est la question de savoir si la tige supposée en fer a un diamètre qui se rapproche de celui résultant de ma formule. Or, en introduisant dans cette formule

$$D^2 = 0.987\frac{P}{C} \pm \sqrt{0.000637\frac{P}{C}\left(L^2 + 0.987\frac{P}{C}\right)^2}$$

les données ci-dessus, on a :

$$D^2 = 0.987\frac{83000}{4000} \pm \sqrt{0.000637\frac{83000}{4000} \times 3600 + \left(0.987\frac{83000}{4000}\right)^2}$$

D'où l'on déduit D = 6c, 60.

La preuve donne P = 85 500, au lieu de 83000; ce qui est suffisamment approché.

Les mêmes calculs faits dans l'hypothèse où le coefficient de sécurité serait de $\frac{1}{8^e}$ donnent :

D=5m83; et la preuve, P=66600, au lieu de 66400.

On voit par là que, selon toute apparence, la tige de piston de la machine mixte des chemins de fer du Midi eût travaillé à la compression entre le $\frac{1}{8}$ et le $\frac{1}{9}$ de sa résistance absolue, si elle avait été en fer, et, pour peu que l'acier dont elle est composée soit d'une qualité moyenne et d'une résistance supérieure à celle du fer, elle offre un grand surcroît de sécurité.

En effet, sous le diamètre de 6 centimètres qu'elle présente en réalité, sa résistance est (l'acier étant de qualité supérieure)

$$P = 7630 \times 0.785 \times 56\sqrt{\frac{28}{10+35}} = 216000 \times 0.79 =$$

= 170000 kilog.

au lieu de 83000, ce qui fait que la tige ne travaillerait qu'au $\frac{1}{20^e}$ de sa résistance absolue.

25. — Quant à la résistance à la traction de cette tige également supposée en fer, elle est

$$T = 28 \times 3600 = 100000^{kg},$$

Ce qui donne : $\frac{100000}{8300} = 12.$

Cette disproportion, quelquefois plus grande encore entre les taux auxquels travaille le métal à la traction et à la compression, a pu faire croire à la possibilité d'amincir sans inconvénient la tête de la tige du piston et d'y prendre en plus la section nécessaire pour loger la clavette qui la rattache à la glissière et à la bielle; mais il est facile de se rendre compte que l'on arrive quelquefois par cette disposition à faire descendre le taux du travail à la traction au dessous de $\frac{1}{4}$; c'est ce qui explique les ruptures des tiges de piston dans la mortaise. Cet accident est d'autant plus à redouter lorsque la mortaise est rectangulaire. Il est à remarquer que, dans tous les cas de coupures de métal à angles vifs, il y a un effet semblable, jusqu'à un certain point, à celui du diamant sur le verre, par lequel le fer est affaibli bien au delà de la section restante. L'expérience a montré combien, pour cette raison, il importait de terminer par des congés les fusées d'essieux. On sent que la même attention est également utile dans le cas actuel. Aussi signalerai-je, comme une disposition à imiter, la tête de la tige du piston du Midi dont la mortaise terminée par deux demi-cercles est pratiquée dans un *renflement* conique de la tige ; double précaution qui empêche que le taux de la résistance à la traction descende au-dessous de celui de la résistance à la compression.

26. — Les applications qui précèdent sur les tiges de piston ne dispensent pas de faire la même chose à l'égard des bielles. Car ces derniers organes présentent des particularités qui peuvent faire hésiter sur la question de savoir quelle formule il convient de leur appliquer. Il est à remarquer, en effet, qu'une bielle de section rectangulaire peut ployer dans deux sens : dans le plan du mouvement et dans le sens perpendiculaire. Elle peut

ployer dans le plan du mouvement, malgré l'accroissement considérable dans la dimension qu'elle présente de ce côté, parce qu'elle doit être considérée, dans ce cas, comme un pilier aux extrémités arrondies; tandis que, dans l'autre sens, elle est étroitement serrée par les rebords du tourillon, elle s'appuie sur le corps de ce tourillon par une ligne droite ou mieux par une portion de surface cylindrique qui équivaut à un plan et doit par conséquent être assimilée à un solide à extrémités plates (1). Ces observations expliquent d'une manière satisfaisante pourquoi une bielle doit présenter et présente en effet une différence si grande dans les dimensions de sa section. En ce qui concerne le calcul, il est évident qu'il doit être fait dans les deux cas et qu'il est indispensable de donner à la bielle les dimensions résultant du cas le plus défavorable.

27. — Cela posé, je ferai d'abord le calcul de la bielle motrice du chemin de fer du Midi, dans le cas où elle peut être considérée comme un pilier à extrémités plates. Sa longueur comme pilier est celle qu'elle présente de centre en centre des tourillons, diminuée de la somme des rayons de ces tourillons soit 211 cent. — $10^c,75^1$ = = 200 cent. en nombre rond.

E épaisseur ou dimension horizontale de la bielle. 5 cent.
H hauteur ou dimension verticale de d°. 8 cent.

Cette hauteur est celle qui existe du côté de la petite tête. Elle est de $1\frac{1}{7}$ de l'autre côté. Cette disposition, ainsi que le constatent les expériences de M. Hodgkinson, n'augmente la résistance que de $\frac{1}{7}$ environ. L'accroissement de cette dimension a surtout pour

(1) Ceci ne s'applique, évidemment, qu'au tourillon cylindrique; si, à la génératrice droite, on substituait une courbe comme cela se faisait autrefois, la bielle devrait être considérée, dans les deux sens où elle peut ployer, comme un pilier à extrémités arrondies.

but de racheter la largeur de la grosse tête, mais il y a lieu cependant de tenir compte du surcroît de résistance qui en résulte. Le rapport de la longueur à la dimension transversale dans le cas dont il s'agit est :

$$\frac{L}{E} = \frac{200}{5} = 40.$$

Appliquant ces données à la formule

$$P = \frac{C \times E \times H}{1.55 + 0.0005\left(\frac{L}{E}\right)^2}$$

il vient :

$$P = \frac{4000 \times 5 \times 8}{1.55 + 0.0005 \times 1600} = \frac{100000}{2.355} = 64000 \text{ kilog.}$$

Le renforcement de la bielle à une extrémité, bien qu'il n'ait tout son effet que pour la tendance de cette pièce à fléchir dans le plan du mouvement, n'est pas absolument sans influence dans le sens perpendiculaire, et augmente peut-être la résistance de $\frac{1}{10^e}$. En tous cas, le coefficient de sécurité, sans tenir compte de cette augmentation, est encore de $\frac{64,000}{8,300} = 7,70$, taux supérieur, ainsi qu'on va le voir, à celui de la résistance présentée dans l'autre sens.

28. — Si en effet on cherche la valeur de P, en supposant que la bielle puisse tourner sur ses tourillons comme un pilier arrondi par ses extrémités, dans ce cas (§ 14),

$$\frac{L}{H} = \frac{200}{8} = 25.$$

en appliquant la formule on a :

$$P = \frac{160000}{0.0012\ (35 + 25)^2} = \frac{160000}{4.32} = 37000 \text{ kilog.}$$

qui augmentés du $\frac{1}{7e}$ par le renforcement deviennent 42300 en nombre rond ; ce qui correspond à un coefficient de sécurité de $\frac{42,300}{6,300} = 5, 1$, inférieur au précédent, ainsi que cela avait été annoncé.

Comme il n'y a jamais eu de cas de rupture de bielles motrices au chemin de fer du Midi, cet exemple a cela de précieux qu'il indique une limite à laquelle il semblerait que l'on peut descendre en toute sécurité. Mais je ne conseillerai pas d'admettre en général un taux inférieur à 6, les ruptures de bielle pouvant avoir de graves conséquences, et celui de 5, 1 que l'on vient de trouver pouvant très-bien n'être pas le coefficient réel, le fer employé ayant pu être d'une qualité supérieure à celle que j'ai admise pour le calcul.

22. — Si la bielle qui vient d'être examinée était en acier résistant à 7650 kilogrammes, sa résistance dans le sens où elle est le plus faible serait : (formule D)

$$P = 1.20 \times 7680 \times 40 \sqrt{\frac{1.32}{25 - 5.50}} = 366000 \times 0.26 = 95000 \text{ kil.}$$

et dans ce cas la bielle travaillerait à un peu moins de $\frac{1}{11^e}$; c'est toujours, comme on le voit, environ le double de la résistance offerte par une bielle en fer de mêmes dimensions.

Dans le cas où l'on craindrait que l'augmentation de résistance, par une rupture suivant la diagonale, n'eût pas lieu pour l'acier ainsi que pour la fonte, il faudrait avoir recours à la formule (H) qui donne :

$$P = 7630 \times 40 \times \sqrt{\frac{1.32}{25 - 5.50}} = 783000 \text{ kilog. environ.}$$

Résultat qui donne encore $\frac{78300}{8300} = 9.45$

30. — Les bielles d'accouplement de la machine mixte du Midi ayant fourni de nombreux cas de rupture, d'après le renseignement qui m'a été fourni par M. Mathieu, ingénieur de la compagnie, il y a un grand intérêt à rechercher si l'on peut, ainsi que l'a fait cet ingénieur, rapporter ces accidents à la mauvaise qualité du fer, au *passage dans les courbes, ainsi qu'au travail considérable de compression et de tension qui se rencontre lorsque le bandage s'écrase.* Le maximum d'effort qu'aient à vaincre les bielles lorsque la vapeur agit dans le sens de la marche a nécessairement lieu au départ. Auprès de celui-là, ceux qui se présentent dans la marche sont d'autant moindres que la vitesse est plus grande. On peut donc écarter de suite des causes probables de rupture celles énoncées par M. Mathieu, et que j'ai soulignées. Les signes qui ont accompagné les ruptures et le calcul vont sans doute éclaircir ce mystère.

Je ferai d'abord remarquer que, d'après le rapport de M. Mathieu, les bielles cassaient toujours au milieu, cette cassure était très-nette et s'annonçait presque toujours *par une petite fente à la partie supérieure.* Or, ces deux indices appartiennent à tout pilier de section uniforme sur le point de céder, et comme, d'après ce que j'ai déjà fait remarquer § 26, une bielle présente son minimum de résistance dans le plan du mouvement, c'est bien sur le petit côté, ainsi qu'on l'a remarqué, que devait s'annoncer la rupture. Le calcul confirme encore cette interprétation, car si l'on applique à la formule (II) § 14, les données ci-après, relatives à la bielle en question :

Longueur de centre au centre = 242 cent. — 10 = 232 cent. ; 10 représentant la somme des rayons des tourillons,

$$E = 4, \quad H = 8, \quad \frac{L}{H} = \frac{232}{8} = 29$$

on obtient :

$$P = \frac{4000 \times 4 \times 8}{0.0012\,(35 + 29)} = \frac{128000}{4.90} = 26 \text{ tonnes.}$$

Si l'on suppose que, par suite de la répartition de la charge dans cette machine, les roues d'arrière aient à porter accidentellement 16 tonnes, soit 8 tonnes par roue, cela équivaudra, en mettant au départ l'adhérence au quart, à un effort tangentiel au pourtour de la roue de 2000, transportant à la manivelle un effort x donné par l'équation :

$$x \times 0.27 = 2000 \times 0.87 \text{ d'où } x = 6100 \text{ kilog.}$$

soit les 3/4 de la pression sur le piston. Dans ce cas, le rapport de la résistance de la bielle à l'effort serait

$$\frac{26000}{6100} = 4.26$$

Une bielle travaillant à ce taux-là court déjà le risque de rompre, ce qui suffit pour expliquer la rupture sans qu'il soit besoin de la rejeter sur la qualité du fer. On ne comprendrait pas, en effet, pourquoi les bielles d'accouplement auraient été plutôt en mauvais fer que les bielles motrices. Si l'on objecte l'aspect de la section rompue à cette interprétation, je répondrai que cela ne prouve rien ; car outre que ce signe de la qualité du métal peut induire en erreur, le fer primitivement bon peut s'être modifié profondément sous l'influence d'un travail excessif et des vibrations résultant de l'effet du sabot sur la roue. Ce n'est pas tout, lorsque la vapeur a cessé d'agir et que le frein est mis en action, la plus grande partie de la force vive énorme possédée par la machine vient se perdre dans le frottement des roues d'arrière sur

le frein. Or, qui est-ce qui est chargé de transporter au frein la quantité d'action qui existe dans les roues restées libres, si ce ne sont les bielles d'accouplement? Il n'est pas difficile de se rendre compte que ce travail est d'autant plus grand que le mécanicien, s'étant laissé surprendre, veut effectuer l'arrêt sur un plus faible parcours. Il doit alors se rencontrer des cas où ce travail particulier de la bielle d'accouplement dépasse considérablement l'effort normal maximum dont elle est chargée au commencement de la mise en marche. Or, si déjà dans ce dernier travail j'ai montré que la bielle était faible, il n'y a pas à s'étonner qu'elle le soit plus encore pour l'autre et que par conséquent des cas de rupture si fréquents se soient rencontrés. La conclusion que l'on peut tirer de là, c'est que les bielles d'accouplement doivent être renforcées dans tous les cas, mais surtout lorsque les roues sur lesquelles elles agissent reçoivent l'impression du frein. Cette dernière cause d'aggravation est telle que l'on peut considérer comme une disposition mauvaise celle d'un frein agissant sur une roue motrice. Je crois qu'il conviendrait d'y substituer un frein du système Laignel, agissant sur la voie.

31.—Il y a dans une machine locomotive des pièces qui jouent un rôle assez important comme pilier, ce sont les colonnettes ou petites bielles qui s'appuyant sur les ressorts portent le poids de l'appareil. Dans la machine mixte des chemins de fer du Midi, ces bielles ont 39 cent. de hauteur libre et 3c 1/2 de diamètre; leur résistance, qui doit être assimilée à celle de piliers ayant les extrémités arrondies, est la suivante (formule H) :

$$P = \frac{4000 \times 0{,}785 \times \overline{3.5}^2}{0.55 + 0.13\ \frac{39}{3.5}} = \frac{38600}{2} = 19600 \text{ kilog.}$$

En supposant que le poids sur l'arrière de la machine puisse

accidentellement s'élever à douze tonnes, soit à trois tonnes par bielle, cette pièce travaillerait au sixième de sa résistance absolue, ce qui est bien suffisant. Dans le cas extrême que j'ai supposé pour le travail des bielles d'accouplement, elles seraient un peu faibles.

32. — Si l'on résume les résultats auxquels j'ai été conduit par le travail qui précède, on trouvera qu'il renferme ;

1° Une méthode d'expérimentation très-simple propre à déterminer la résistance des piliers de toute espèce et qui, étant de nature à être appliquée à peu de frais, pourrait être mise en pratique par un grand nombre d'ingénieurs et d'industriels et nous apporter prochainement une masse de faits sur les matériaux du pays ;

2° Une méthode également très-simple pour interpréter les résultats obtenus et les traduire en une formule commode pour le calcul ;

3° Le moyen d'étendre les résultats obtenus au cas des piliers à extrémités plates ;

4° Des formules pour les différentes formes de section usitées tant pour le fer que pour l'acier,

5° Des applications qui ont révélé un fait sûrement inconnu d'un grand nombre d'ingénieurs, à savoir le sens dans lequel une bielle présente son minimum de résistance à la compression, et la faiblesse exceptionnelle présentée par les bielles d'accouplement dont on a attribué jusqu'ici les ruptures fréquentes à des causes secondaires qui ont pu aggraver la situation, mais qui diffèrent foncièrement de la cause réelle de ces sortes d'accidents.

Je reviendrai, dans un autre travail, sur les expériences dont j'ai déduit les formules relatives aux piliers en fer, que j'ai dû introduire dans celui-ci pour permettre la comparaison avec les piliers d'acier, et pour mettre de suite à la disposition des prati-

ciens tout ce qui est nécessaire au calcul des pièces spéciales de machines auxquelles elles se rapportent.

APPENDICE

Dans la séance du 15 février, M. Faure, tout en reconnaissant l'utilité des recherches expérimentales et des formules déduites de l'observation, s'est élevé contre l'idée que la théorie fût impuissante à s'appliquer aux phénomènes observés, et rappelant la relation établie par M. Bellanger

$$P = K \frac{D^4}{l^2}$$

il a fait remarquer qu'elle ne différait de celle de M. Hodgkinson que par les exposants; ceux de l'expérimentateur anglais étant respectivement 3,5 et 1,70. Il a ajouté que la formule théorique renfermait un coefficient K indéterminé qu'il fallait demander à l'expérience pour chaque nature de matériaux, étant bien entendu que K correspondait à la flèche qu'il conviendrait de ne pas dépasser en pratique.

J'ai répondu à cela que des observations du genre de celles recommandées par M. Faure étaient inabordables tant elles exigeraient de soins, tant elles présenteraient d'incertitudes. Je crois devoir revenir sur ce point, aussi bien que sur la prétention élevée de résoudre par la spéculation mathématique, c'est-à-dire par des idées préconçues sur la nature des actions qui se passent à l'intérieur du solide, le problème dont il s'agit.

Le résultat auquel arrive M. Bellanger est le même que celui de Duleau; et, comme ce dernier, il a dû supposer pour base de

ses calculs algébriques que, dans toute flexion d'un pilier, une partie de la section était tirée et l'autre comprimée. Or cette hypothèse est absolument fausse; elle est démentie par ce fait expérimental résultant des expériences de M. Hodgkinson, à savoir : que la flèche maximum ne dépassait jamais le rayon des piliers (1), or s'il en est ainsi, dans ce cas extrême, cela se présente *a fortiori* dans les limites de charge où se renferme la théorie. Donc sa base est fausse. Donc le résultat, c'est-à-dire la formule, est nécessairement inexacte.

J'irai en chercher un nouveau témoignage dans le camp même des théoriciens. En effet, après avoir établi la formule dont celle de M. Bellanger est la reproduction, c'est-à-dire

$$P = 0.2056\, a\, \frac{D^4}{l^2}$$

et dans laquelle a représente le coefficient d'élasticité que, d'après des expériences assez contestables, il fixe à 20,000, Duleau a-t-il procédé à des expériences tendant à confirmer la formule théorique complétée par l'introduction du coefficient d'élasticité, c'est-à-dire :

$$P = 4112\, \frac{D^4}{l^2}$$

Nullement. Et pourquoi? Parce que le savant ingénieur a la loyauté de reconnaître que dans les *quatre cinquièmes* de ses expériences, les piliers ont cédé brusquement sous *la charge finale* SANS AVOIR AUPARAVANT PRIS D'INFLEXION; je copie ses propres expressions. Et, fait digne de remarque, *il n'avait expérimenté que sur des piliers d'une longueur excessive* dépassant de beaucoup les besoins de la pratique, ceux pour lesquels les flèches observées eussent dû être les plus grandes. Or, si Duleau n'a pas ob-

(1) Voir à ce sujet les §§ 46 et 47 de mon mémoire sur la résistance du fer et de la fonte. (Mémoires et compte-rendu de la Société, année 1851.)

servé de flèches sensibles avant la rupture ou les affaissements des piliers pour les rapports $\frac{L}{D}$ variant de 100 à 200, je demande ce que trouverait M. Faure dans des piliers se maintenant dans les limites $\frac{L}{D}$ de 10 à 60, et pour des charges fort éloignées de la charge maximum. J'avais donc raison de dire que les expériences proposées par notre confrère étaient irréalisables, par le double motif, je le répète, qu'elles se seraient appliquées à une théorie foncièrement fausse, et que les flèches observées eussent été nulles dans la plupart des cas, si ce n'est dans tous.

Aussi, qu'a fait Duleau en présence d'un pareil résultat? Il a renoncé à l'application orthodoxe de sa formule, et il a cherché, comme le plus humble des observateurs dits *empiriques*, à mettre à la place de son fantastique module d'élasticité, le coefficient K, déduit de ses expériences et correspondant, par conséquent, à la charge maximum; et sa formule pour les piliers rectangulaires est devenue (1) :

$$P = 16450 \frac{de^3}{L^2}$$

qu'il a appliquée, tant bien que mal, à ses expériences. Mais, si l'on veut maintenant chercher l'utilité pratique d'une telle formule, en l'appliquant à des cas d'observations renfermés dans les limites que la pratique ne dépasse pas, les résultats que l'on obtient s'éloignent considérablement de ceux de l'expérience.

(1) Cette formule suppose les dimensions en millimètres et les extrémités des piliers arrondies. Pour l'appliquer à des piliers à extrémités plates dont la résistance est trois fois plus grande, les dimensions étant exprimées en centimètres, il faut multiplier le coefficient 16450 par 300, lequel devient par conséquent 4935000, soit 5,000,000 en nombre rond. On verra plus loin pourquoi j'ai fait cette transformation.

Pour s'en faire une idée, il suffit de rechercher ce que devient le coefficient K, en résolvant la formule théorique par rapport à ce coefficient, et y introduisant pour P les valeurs obtenues par l'observation. C'est ce que j'ai fait, et j'ai obtenu les résultats suivants :

Rapports. $\frac{L}{D}$	7.33	14.66	30.12	39.31	58 82
Valeurs de K	240,000	520,000	2,170,000	2,960,000	5,000,000

Ces résultats n'ont pas besoin de commentaires. Il suffit de se rappeler que, pour que la formule pût être applicable, il aurait fallu trouver pour K une valeur à très-peu près constante.

Maintenant, en ce qui concerne le rapprochement que M. Faure a voulu faire de la formule théorique avec celle de M. Hodgkinson, je rappellerai que cette dernière n'est applicable qu'à des piliers dont le rapport de la longueur au diamètre dépasse 30, c'est-à-dire dans la plupart des cas pratiques ; de telle sorte que, lors même que cette formule se rapprocherait de la formule théorique, cela ne prouverait pas grand'chose. Mais dans quelles limites la formule de M. Hodgkinson est-elle applicable ? L'expérimentateur anglais a oublié de nous le dire, et je déclare que je n'ai eu ni le courage ni la patience de m'en assurer. Mais j'ai la conviction qu'elle n'est susceptible d'application que dans des limites assez étroites, c'est-à-dire pour des rapports $\frac{L}{D}$ compris entre 30 et 60 par exemple. Quant aux piliers renfermés dans les limites pratiques habituelles, M. Hodgkinson donne la formule suivante, qu'il a obtenue par un procédé dont il m'a été impossible de me rendre un compte satisfaisant :

$$P = \frac{K \times \frac{D^{3.60}}{L^{1.70}} \times C}{K \times \frac{D^{3.60}}{L^{1.70}} + \frac{3}{4} C}$$

Cette formule se rattache à l'autre, en ce sens que celle-ci y entre comme élément. Mais il est évident qu'à part ce détail elle n'a pas le moindre rapport avec la formule théorique. Or c'est celle-là que M. Faure aurait dû prendre pour terme de comparaison, afin de rester sur le véritable terrain de l'application.

En résumé, si l'on veut se représenter exactement la manière dont la théorie (soit qu'elle emprunte les formules de M. Hodgkinson, soit celles de Duleau) se rencontre avec la loi générale exprimée par ma formule, on reconnaîtra qu'ayant tracé la courbe ABCD exprimant cette loi générale, la première formule de M. Hodgkinson donnera une courbe A'BE, la seconde B'BF, et la formule théorique C CH.

Toutes les formules théoriques en sont là, et l'on s'en assurera facilement, pour peu que l'on veuille bien prendre la peine de lire, avec attention, ma brochure sur les prescriptions administratives réglant l'emploi des métaux dans les appareils de constructions intéressant la sécurité publique, dont j'ai remis 200 exemplaires au siége de la Société.

Au reste, je reviendrai sur cette question dans un écrit auquel je mets en ce moment la dernière main, et qui traite de l'influence de *la méthode spéculative en général, et de la spéculation mathématique en particulier sur le progrès des sciences d'application;* et j'espère montrer que cette méthode, qui, en France, trône encore dans toutes les sciences et qui empêche l'avènement de la méthode baconienne, a été et continue d'être le plus grand obstacle aux progrès des sciences et de la société.

TABLE DES MATIÈRES

ART. PREMIER. — *Exposé de la question. — Expériences.*

1. Absence d'expériences sur ce sujet expliquée par les difficultés qu'elles présentent. — Moyen employé par l'auteur pour tourner la difficulté.
2. Dimensions et nature des piliers expérimentés. — Expérience préliminaire à la traction. — But de cette expérience.
3. Tableau des expériences faites par les soins de l'auteur.
4. Observations sur les résultats obtenus. — Courbe représentant ces résultats offrant une grande régularité, et confirmant le fait prévu, que la résistance de l'acier à la compression peut être considérée comme étant égale à sa résistance à la traction.

ART. 2. — *Recherche de la formule représentant les résultats précédents. — Vérification de la formule. — Comparaison des piliers en acier avec des piliers en fer et en fonte.*

5. Etablissement de la formule des piliers d'acier à bouts arrondis.
6. Vérification de cette formule.
7. Comparaison des résistances offertes par des piliers de mêmes dimensions en fer, en fonte et en acier. — Avantages présentés par ces derniers.
8. Observations importantes sur l'acier auquel s'applique la formule. — Utilité d'expérimenter, par la méthode simple indiquée par l'auteur, les aciers des diverses provenances.

ART. 3. — *Recherche de formules applicables à des piliers à extrémités plates, à section cylindrique, carrée ou rectangulaire.*

9. Expériences de M. Hodgkinson sur des piliers d'acier du Staffordshire pré-

sentant des extrémités rondes, plates, ou rondes d'un côté et plates de l'autre.

10. Observations sur ces expériences. — Il faut en conclure qu'il y a entre les résistances des diverses espèces de piliers d'acier les mêmes rapports que ceux observés sur les piliers en fonte ou en fer.

11. L'auteur part de là pour déterminer les résistances qu'eussent offertes les piliers qu'il a fait expérimenter, si leurs extrémités avaient été plates. — Il en déduit par le même procédé la formule relative à ce cas particulier.

12. Vérification de la formule ainsi obtenue.

13. Formules relatives aux piliers d'acier à section carrée ou rectangulaire, à bouts plats ou arrondis.

14. Rappel des formules correspondant à toutes les précédentes, relatives aux piliers en fer, pour servir aux calculs comparatifs sur les deux espèces de piliers.

ART. 4. — *Applications.*

15. Citation de l'article du « Guide des constructeurs de machines locomotives », relatif au calcul d'une tige de piston.

16. Observations sur la partie de cet article qui emprunte ses éléments de résistance à un ancien auteur, et sur l'adoption de moyennes générales de résistance.

17. Observations sur la partie du même article qui se rapporte à la manière dont les auteurs du *Guide* calculent le diamètre d'une tige de piston.

18. Observations sur le coefficient de sécurité à adopter dans le calcul à faire par mes formules.

19. Expériences d'où l'on peut déduire la résistance *maximum* à la compression des bons fers de fort échantillon.

20. Calcul de la tige de piston dont il est question dans l'article rapporté § 13, cet organe étant supposé en fer.

21. Vérification de ce calcul.

22. Calcul de la même tige, supposée en acier, résistant à la traction à 7690 kil., comme celui des expériences de l'auteur.

23. Observations sur les applications précédentes.

24. Calcul de la tige de piston de la machine mixte du chemin de fer du midi, supposée en fer.

25. Résistance à la traction de la dite tige. — Observations sur les modes d'assemblage des tiges de piston susceptibles d'en faire descendre la résistance à la traction au-dessous de la résistance à la compression.

26. Observations sur les efforts divers auxquels une bielle peut être soumise. — Elle doit être calculée pour le cas le plus défavorable.

27. Calcul de la bielle motrice de la machine mixte des chemins de fer du midi, considérée dans le sens perpendiculaire au mouvement.

28. Calcul de la même bielle considérée dans le plan du mouvement. — C'est dans ce sens qu'elle présente sa résistance *minimum*.

29. Calcul de la même bielle supposée en acier, dans le cas du paragraphe précédent.

30. Résistance d'une bielle d'accouplement. — Accidents fréquents montrant que ces organes présentent en réalité leur résistance *minimum* dans le plan du mouvement. — Calcul vérifiant de nouveau ce fait important.

31. Calcul de la résistance des colonnettes de support des machines locomotives s'appuyant sur les ressorts.

32. Résumé des résultats acquis au moyen du travail qui précède.

APPENDICE sur l'impuissance de la théorie à établir des formules de résistance des piliers d'accord avec les faits d'expérience. Il en est de même de toute formule théorique fondée sur une idée préconçue des actions qui se passent à l'intérieur du solide. Ce qui est le cas de toutes les formules théoriques *sans exception*.

Typ. de GUIRAUDET, imprimeur de la Société des Ingénieurs civils,
2, place de la Mairie, à Neuilly.

ERRATA

POUR LA DEUXIÈME NOTICE SUR LA COULISSE DE STEPHENSON
PAR M. DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ. (Voir page 94)

1° page 105, ligne première, au lieu de :

$$\sqrt{1 - \frac{\gamma^2}{c^2} \sin^2 A \sin^2 \omega},$$

Lisez : $$\sqrt{1 - \frac{r^2}{c^2} \sin^2 A \sin^2 \omega}$$

2° même page, ligne vingtième, au lieu de :

$$8\left[d - \theta\,[c - r\sin(\omega + a)]^2\right]^{3/2},$$

Lisez : $$8\left[d^2 - \theta\,[c - r\sin(\omega + a)]^2\right]$$

3° page 116, ligne huitième, au lieu de :

$\sin\omega$, $\cos\omega$, Lisez : $\sin\omega\cos\omega$

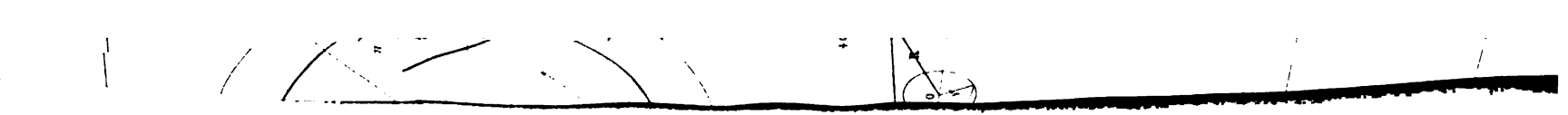
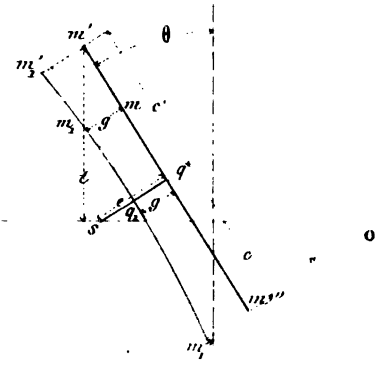


Fig. 19.



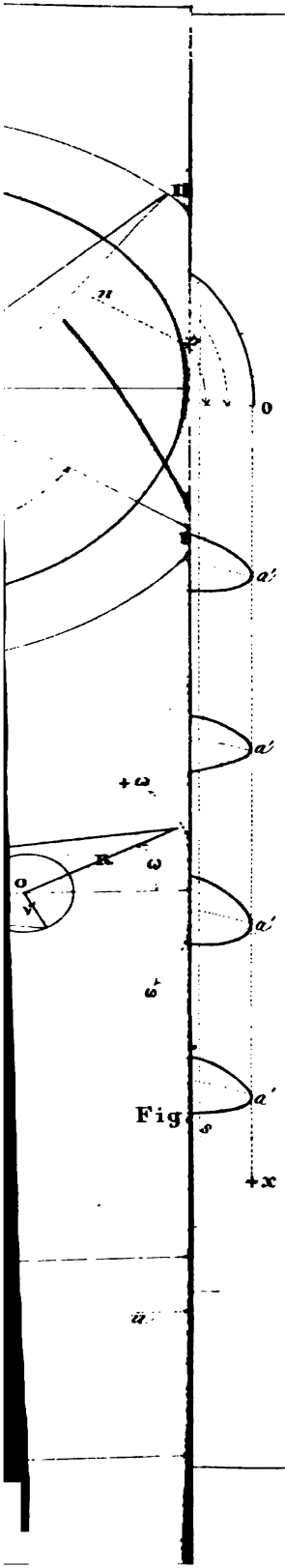


Fig. 20.

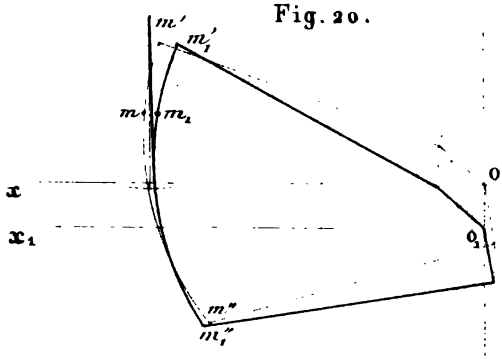
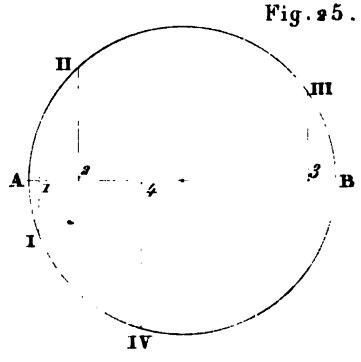


Fig. 25.



Etabl.t et imp.rie de E. Noblet, Editeur.

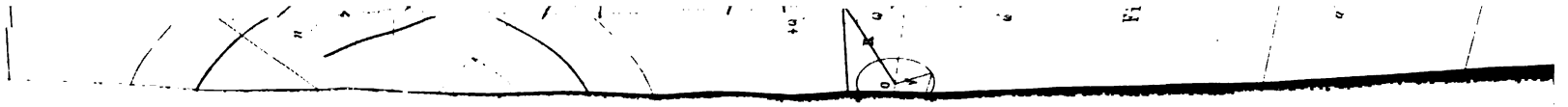
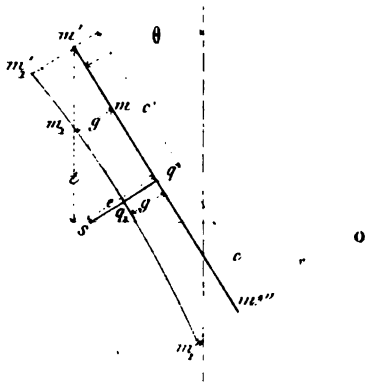


Fig. 19.



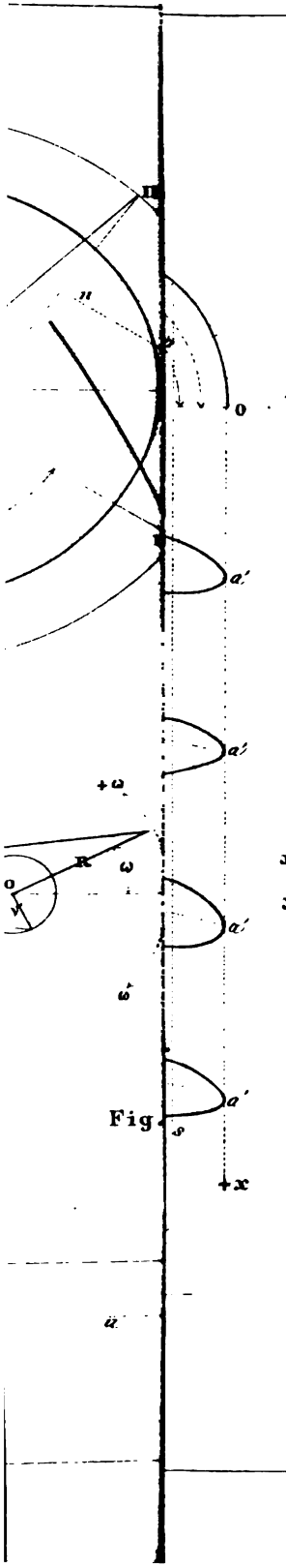


Fig. 20.

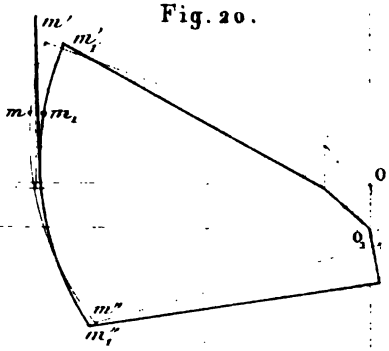
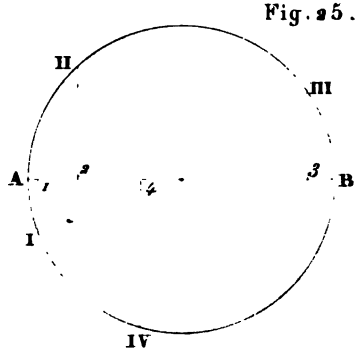


Fig. 25.



Etabl.t et imp.rie de E. Veblet, Editeur.

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(AVRIL, MAI ET JUIN 1861)

N° 14

Pendant ce trimestre on a traité les questions suivantes :

1° *Régulateur à force centrifuge* (voir les résumés des séances des 5 avril, 3 et 17 mai, 7 et 21 juin, pages 175, 186, 198, 201 et 212) ;

2° *Composition de l'acier* (discussion sur la), (voir les résumés des séances des 5 et 19 avril, et 3 mai, pages 176, 183 et 194) ;

3° *Résistance des piliers*, par M. Love (voir le résumé de la séance du 19 avril, page 181) ;

4° *Plaques tournantes en fonte*, par M. Sieber (voir le résumé de la séance du 3 mai, page 186) ;

5° *Machines locomotives à huit roues couplées*, système Beugniot (voir les résumés des séances des 3 et 17 mai, pages 187 et 198) ;

6° Études entreprises par plusieurs membres de la Société pour mettre les travaux et son bulletin au niveau des progrès

qui ont surgi dans ces dernières années (voir le résumé de la séance du 3 mai, page 192);

7° *Distribution des eaux dans Paris* (voir le résumé de la séance du 17 mai, page 199);

8° Exposé de la situation financière de la Société par le trésorier (voir le résumé de la séance du 21 juin, page 211).

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° Les nos de février, mars, avril et mai 1861, des *Annales des Conducteurs des Ponts-et-Chaussées;*

2° Le n° de février, mars et mai 1861, du bulletin de la *Société Industrielle de Mulhouse;*

3° Le n° de janvier, février, mars et avril 1861, du bulletin de la *Société d'Encouragement;*

4° De M. Servier, membre de la Société, un exemplaire de sa *Traduction du Traité de la fabrication du gaz, par Clegg;*

5° De M. Oppermann, les nos de janvier, février, mars, avril, mai et juin, de son *Album de l'Art Industriel*, et les nos de mars, avril, mai et juin, des *Nouvelles Annales de la Construction* et du *Portefeuille Économique des Machines;*

6° De M. Nozo, une analyse du mémoire de M. Beugniot sur sa *Machine locomotive de montagne;*

7° De M. Guiraudet fils, imprimeur, un exemplaire du *Catalogue des collections du Conservatoire des arts et métiers;*

Un exemplaire du *Guide pratique de Tachéométrie*, par M. Joseph Porro;

Un exemplaire de trois mémoires intitulés : *Étude sur le cadastre des terres, sur les hypothèques et l'enregistrement*

des actes publics et sur la péréquation de l'impôt foncier, par MM. de Robernier (Félix), Porro (Ignace) et Porro (Félix),

8° Le n° d'août 1860 de l'*Institution of Méchanical Engineers*;

9° Les n^os^ de janvier, février, mars, avril, mai et juin 1861, des *Annales télégraphiques*;

10° De M. Noblet, éditeur, les n^os^ de janvier, février, mars et avril de la *Revue universelle des Mines et de la Métallurgie*;

11° De M. Desnos, membre de la Société, les n^os^ d'avril, mai et juin, du journal *l'Invention*;

12° De M. Chabat (Pierre), la 17^e^ livraison de sa publication intitulée : *Bâtiments de chemins de fer*;

13° De M. La Salle, membre de la Société, un mémoire intitulé : *Métallurgie du fer.—Étude sur les théories actuelles*;

14° Les n^os^ d'avril, mai et juin du journal *The Engineer*;

15° Les n^os^ des 5^e^ et 6^e^ livraisons de 1860 et la 1^re^ livraison de 1861 des *Annales des Mines*;

16° De M. Maldant, membre de la Société, un exemplaire d'une *Note sur des Docks à Bordeaux*;

17° De M. Hauchecorne, un exemplaire des *Tableaux statistiques des chemins de fer de l'Allemagne, de la France, de la Belgique, de la Hollande, de la Suisse et de la Russie en* 1859;

18° Le n° de janvier 1861 de la *Revue des Ingénieurs Autrichiens*;

19° De M. E. Vuigner, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur *les Docks-Entrepôts de la Villette*;

20° De M. Siéber, membre de la Société, une note sur la *Construction des plaques tournantes*;

21° De MM. de Dion et Lasvignes, membres de la Société, un exemplaire de leur ouvrage sur la *Cathédrale de Bayeux; reprise en sous-œuvre de la Tour Centrale*;

22° De M. Émile Barrault, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure intitulée les *Inventions et la loi des Etats-Unis;*

23° De MM. Henri Mathieu et Deligny, membres de la Société, une analyse du travail de M. Eugène Flachat, sur la *Traversée des Alpes par un chemin de fer;*

24° Le n° du dernier bulletin des Séances de la Société Impériale et Centrale d'agriculture;

25° Les n^{os} des mois de mai et juin du *Bulletin de la Presse Scientifique des deux Mondes;*

26° De M. Guettier, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur l'*Emploi pratique et raisonné de la fonte de fer dans les constructions;*

27° De M. Carvallo, ingénieur des Ponts-et-Chaussées, un exemplaire de son deuxième *Mémoire sur les lois mathématiques de l'écoulement et de la détente de la vapeur;*

28° De M. César Daly, les n^{os} 11 et 12 de la *Revue générale d'architecture et des Travaux Publics;*

29° De M. Chavès, membre de la Société, une note sur l'*Epuration des eaux d'alimentation des machines;*

30° De M. Charles Laurent, membre de la Société, une note sur les *Citernes de Venise;*

31° Les n^{os} de novembre et décembre 1861 des *Annales des Ponts-et-Chaussées;*

32° De M. Émile With, les dessins des *Tachomètres des locomotives des chemins de fer Saxons;*

33° Le n° du I^{er} semestre 1861 des *Mémoires de la Société d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube.*

Les Membres nouvellement élus sont les suivants :

Au mois d'avril.

MM. Delonchant, présenté par MM. Eug. Flachat, Noisette et Richoux;

Doyère, présenté par MM. Eug. Flachat, Faure et Callon;

Foucou, présenté par MM. Faure, Laurens et Love;

Gaget, présenté par MM. Eug. Flachat, Richoux et Tronquoy;

Langlois (Auguste), présenté par MM. Barrault (Alexis), Tourneux et Barrault (Émile);

Perret, présenté par MM. Eug. Flachat, Alcan et Bourgougnon.

Au mois de juin

MM. Belpaire, présenté par MM. Petiet, Loustau et Nozo;

Brialmont, présenté par MM. Petiet, Nozo et Chobrzynski;

Bonnet (Désiré), présenté par MM. Loustau, Lainé et Lasseron;

Conrard, présenté par MM. Eug. Flachat, Richoux et Goschler.

RÉSUMÉ DES PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT LE 2e TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1861

SÉANCE DU 5 AVRIL 1861

Présidence de M. Eugène FLACHAT

M. FAURE rappelle que M. Farcot a adressé à la Société, en novembre 1859, un mémoire sur un nouveau régulateur à force centrifuge, qu'il désigne sous le nom de *Modérateur à bras croisés*. Ce régulateur ayant été l'objet d'un rapport à la Société d'Encouragement, constatant les bons résultats qu'on en obtient, M. Faure pense qu'il y a lieu de le signaler à l'attention de la Société.

On sait, dit M. Faure, que les régulateurs ou pendules coniques généralement adoptés n'ont d'efficacité que pour des variations très-faibles dans le travail, et qu'ils sont impropres à régulariser la vitesse d'une machine ayant à vaincre des résistances fort variables ; en effet, si le travail dépensé vient à diminuer, la vitesse de la machine s'accélère et le régulateur vient fermer plus ou moins l'orifice d'admission : si cette fermeture de l'orifice est celle qui convient au nouveau travail à effectuer, la vitesse primitive ne sera pas maintenue, puisque chaque position des boules correspond à une vitesse différente.

Si l'on désigne par T la durée d'une révolution du pendule, par H la projection de longueur mathématique du pendule sur l'arbre artificiel autour duquel il tourne, on a

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{H}{g}}$$

c'est-à-dire que la durée d'une révolution ne dépend pour un lieu donné, que de la hauteur H. C'est donc cette hauteur qu'il faut rendre constante pour que le pendule maintienne la vitesse uniforme, quelle que soit l'an-

gle qu'il forme avec son axe de rotation, c'est-à-dire quelle que soit l'ouverture du papillon.

On sait que la parabole jouit de cette propriété, que la sous-normale où chacun de ces points est une quantité constatée; par conséquent, cette courbe est le lieu géométrique des points que doit occuper le centre de la boule du pendule pour satisfaire aux données du problème, et son paramètre doit être égale à la projection H.

C'est sur cette propriété que sont fondés certains régulateurs dont la tige porte-boule, formée de 2 parties rentrant à frottement l'une dans l'autre, porte au milieu de sa longueur un galet assujéti à cheminer sur un arc de parabole ayant pour axe l'axe de rotation du pendule, et tournant avec lui.

La disposition adoptée par MM. Farcot permet de supprimer le guide parabolique; à cet effet, ils tracent l'arc de parabole suivant lequel doit se mouvoir le centre des boules, et le remplacent par un arc de cercle qui s'en rapproche autant que possible. Cet arc étant tracé, ils placent le centre d'oscillation de chaque pendule au centre de cet arc. L'action des boules se transmet au manchon par l'intermédiaire de deux bielles croisées, qui sont respectivement articulées sur les bras des boules. Le manchon agit sur une tige équilibrée par un contrepoids qui met en mouvement, non pas la valve d'introduction, mais les organes qui permettent de faire varier la détente. Un régulateur de ce genre installé chez Mme veuve Erard, à la Villette, a maintenu constante la vitesse de la machine, bien que le travail fourni ait varié de 3 à 20 chevaux.

M. Laurens fait observer que le régulateur à boules de M. Farcot est difficile à régler, et que d'ailleurs il n'est pas indispensable de recourir au pendule conique pour avoir un bon régulateur. M. Larivière a résolu le problème d'une manière plus simple et surtout plus efficace, au moyen de l'appareil que tout le monde connaît.

M. Faure remet à la Société un exemplaire de la situation de l'industrie houillère, en 1860.

M. Richoux analyse ensuite les derniers travaux présentés à l'Académie, par MM. Frémy et Caron.

Les principales expériences nouvelles faites par M. Frémy ont consisté à soumettre pendant trois heures, à la température rouge, une lame d'acier, dont une partie seulement est enveloppée par un courant d'hydrogène. Dans ces conditions, la partie de lame soumise à l'influence de l'hydrogène est ramenée à l'état de fer doué d'une malléabilité merveilleuse et que la trempe ne peut plus modifier, tandis que la partie de la lame qui n'a pas été soumise à l'action de l'hydrogène conserve tous les caractères de l'acier. M. Frémy ajoute que pendant tout le temps qu'a duré l'opération de désaciération, il s'est constamment dégagé des vapeurs ammoniacales, et probablement d'autres alcalis azotés dont la vapeur possède une forte odeur de corne brulée.

M. Frémy dit avoir reconnu que l'acier est ramené à l'état de fer azoté par l'action de l'acide carbonique, et qu'il serait probablement converti en

fer brûlé si l'action de ce gaz était suffisamment prolongée. Il conclut de l'ensemble des expériences qu'il a faites qu'on acière le fer en l'azotant en présence du carbone, et qu'on le désacière en le désazotant par l'hydrogène, ou en le privant de son carbone par l'acide carbonique.

M. Frémy a recherché comment l'azote pénètre dans les caisses de cémentation, et il a reconnu qu'il préexiste dans tous les charbons, même dans les charbons végétaux. Ces charbons, soumis à une longue calcination au rouge et à des lavages qui leur enlèvent les alcalis et les cyanures, donnent, lorsqu'ils sont soumis à l'action des gaz hydrogènes ou de la vapeur d'eau, en effet, un dégagement d'ammoniaque.

Le charbon azoté est donc une sorte d'emmagasinement de l'azote utile à la cémentation; sa décomposition se fait avec une lenteur qui convient à l'opération même, et qui est peut-être une des conditions de la qualité du produit.

L'utilité de l'azote dans un charbon explique, dit M. Frémy, ce fait de pratique fort curieux, à savoir : que le charbon des caisses de cémentation, qui a été chauffé pendant un certain temps, s'épuise et doit être remplacé par un charbon neuf.

Pour M. Frémy, les phénomènes chimiques de la cémentation peuvent s'expliquer de la manière suivante : l'ammoniaque produit d'abord de l'azoture de fer en dégageant de l'hydrogène, qui rend le fer poreux; les gaz hydrocarburés décomposent ensuite l'azoture en agissant par leur hydrogène et leur carbone; l'excès d'azote se dégage à l'état d'ammoniaque ou de cyanhydrate d'ammoniaque, ce qui augmente encore la porosité du métal; tandis que le carbone vient s'unir à un reste d'azote et constituer le composé azoto-carboné qui paraît être l'élément essentiel de l'acier.

Le soufre et le phosphore, qui s'opposent à la tranformation du fer en fonte, c'est-à-dire qui excluent la possibilité de l'absorption du carbone, excluent également l'azote. Le silicium, qui se rapproche du carbone par ses propriétés chimiques, peut seul exister simultanément avec le carbone dans la fonte; mais, de même que le soufre et le phosphore, il s'oppose à la cémentation des fers provenant des fontes qui en contiennent.

M. La Salle discute les opinions émises par M. Frémy, dans un mémoire qui sera imprimé dans le Bulletin du 2e trimestre.

M. Limet présente les observations suivantes :

La note dont M. La Salle vient de nous donner lecture, et qui fait suite à sa première note sur le procédé Bessemer, constitue presque un traité complet sur la matière. Ce travail de M. La Salle, très-élégamment rédigé, rempli de considérations pratiques dont il faut toujours tenir compte sérieux, n'a qu'un tort à mes yeux, c'est de manquer de conclusions, ou, pour mieux rendre ma pensée, de trop conclure à la perfection des produits et des procédés actuels.

Si nous devons être réservés dans l'exposé des idées théoriques purement spéculatives, nous devons au contraire ne pas repousser systématiquement des faits nouveaux, surtout lorsqu'ils sont présentés par des hommes dont l'autorité ne peut être contestée, et par cela seul que la nou-

veauté en est discutée ou que les conséquences pratiques n'en sont pas encore déduites.

Il nous appartient de chercher ces conséquences en analysant à nouveau et très-sérieusement tous les faits des opérations industrielles, dont un si grand nombre manque encore d'explication satisfaisante.

Tous les métallurgistes savent qu'à l'aide de matières pures et de procédés coûteux on arrive à produire d'excellents aciers, mais qu'à leur qualité correspond un prix de revient si élevé qu'il en limite l'emploi au dixième de la consommation.

Ce que réclame aujourd'hui l'industrie, ce sont des aciers de bonne qualité et à bon marché; or, en présence des progrès réalisés depuis vingt années dans nos aciéries, on peut certainement espérer la solution du problème.

L'exposé des résultats du procédé Bessemer en Suède et en Angleterre, les communications si intéressantes de MM. Frémy et Caron, et les discussions très-animées qui en sont résultées au sein de notre Société, me paraissent avoir suffisamment posé ce problème pour que nous sortions des considérations générales et théoriques, et que nous entrions dans la voie d'un contrôle sérieux, simultanément par des expériences nouvelles et par l'examen de tous les faits pratiques connus.

Relativement aux idées nouvelles, la question est nettement celle-ci : ***l'azote est-il un agent réel, sérieux, utile, nuisible ou indifférent*** dans les opérations métallurgiques, soit qu'il reste en une proportion quelconque dans les composés, ainsi que le constate M. Frémy, soit qu'il intervienne comme véhicule par voie de double décomposition, ainsi que l'affirme M. Caron, soit enfin que son action soit indifférente ou nuisible, comme le veut M. Jullien?

Sans revenir sur les opinions pour et contre que nous avons entendu émettre, ni sur les expériences que j'ai faites il y a trois ans et que je vous ai communiquées pour démontrer le rôle énergique et important que jouent les gaz azotés dans la transformation du fer en acier; je me contenterai, attendu l'heure avancée, d'appeler votre attention sur quelques faits qui selon moi, alors même qu'ils restent inexpliqués, prouvent également l'action réelle de ces gaz, dont jusqu'à présent on n'a pas tenu compte.

Mais avant de les soumettre à la discussion, je ferai une réserve en demandant que l'on ne s'appuie pas sur des modifications moléculaires résultant d'effets calorifiques purs, c'est-à-dire ayant lieu à l'abri de l'air ou des gaz, pour critiquer ou justifier telle ou telle théorie?

Je vous ai signalé à la dernière séance, et M. Frémy l'a également signalé à l'Institut lundi dernier, l'inertie relative du vieux charbon comme cément; si l'on rapproche ce fait de l'inertie du charbon réduit en poussière et de la nécessité de l'employer en petits morceaux d'un certain volume, ne peut-on conclure que dans les deux cas le pouvoir absorbant du charbon pour les gaz a été détruit, et que c'est là réellement la cause de cette inertie? A l'appui de cette opinion, je rappellerai ce fait d'expérience, c'est que du charbon de bois mis avec du fer dans un creuset a donné lieu à un

dégagement de gaz inflammable pendant 30 heures; qu'enfin le charbon de bois contient 8 à 10 p. 0/0 d'eau, et peut absorber des proportions considérables de gaz.

90 fois son volume d'ammoniaque,
40 » » de protoxide d'azote,
35 » » d'acide carbonique,
35 » » d'hydrogène carboné,
9,42 » » d'oxide de carbone,
9,25 » » d'oxigène,
7,50 » » d'azote.

N'est-on pas fondé à attribuer un rôle important aux gaz contenus dans le charbon même, sans qu'il soit besoin de chercher cette introduction de gaz à travers les parois des caisses de cémentation, à expliquer l'emploi du charbon en petits morceaux et non en poussier :

1° Par les gaz qu'il contient en cet état;

2° Par le jeu, qu'en raison des intervalles vides, il laisse aux gaz.

Sans aucun doute, l'idée de la cémentation par les gaz n'est pas nouvelle; en 1825, Makintosh, en Angleterre, essaya de cémenter pratiquement avec du gaz d'éclairage; Karsten cite une cémentation aux gaz oléagineux qui donna d'excellents résultats.

La difficulté de construction des appareils dans ce dernier cas, le mauvais choix du gaz et du mode d'opération firent renoncer à ces tentatives auxquelles nous ne conseillerions pas de revenir. Mais ce n'est pas uniquement au point de vue de la cémentation, dont à tort on tient peu de compte aujourd'hui parce qu'elle se fait économiquement, que l'on doit étudier soigneusement le pouvoir des gaz comme agents d'aciération; cette étude, nous en sommes convaincu, conduira à d'importantes modifications du mode actuel de fusion, et pourra surtout améliorer les procédés de puddlage qui, quoique très-récents en France, ont déjà fait d'énormes progrès.

J'ai oublié de constater à propos du charbon de cémentation qu'on en employait 15 à 16 p. 0/0 du poids du fer, alors que le fer n'en prenait en combinaison que 1,5 à 1,75 p. 0/0.

Cela est justifié par la nécessité, à raison de la haute température des caisses, d'empêcher les barres de se toucher, mais cette quantité est une source de gaz dont il faut tenir compte.

L'analogie me conduit à un autre fait qui n'a jamais été signalé, je crois, et qu'il est utile de connaître. Il est admis, généralement, que le meilleur recuit pour rétablir l'homogénéité de pièces forgées, ou dans le cas de pièces d'acier pour les rendre plus faciles à travailler, est de les chauffer en vase clos avec du charbon de bois à l'abri du contact de l'air?

Or, voici ce que j'ai observé au début d'une fabrication assez importante comme nombre, puisqu'on faisait de 1,000 à 2,000 pièces par jour.

Avec le charbon de bois, le recuit des pièces d'acier donnait constamment sur un certain nombre des places décarburées ne se trempant plus sans que rien pût expliquer un pareil accident très-irrégulier, et ne se

produisant que sur des points de très-peu d'étendue. Les mêmes pièces recuites avec du coke préparé avec soin et provenant de charbon de Saint-Etienne, de première qualité, présentaient très-rarement cet accident. Enfin si, au lieu de laisser refroidir lentement, ainsi que cela est nécessaire pour les recuits, on trempait les pièces au rouge, elles étaient uniformément dures, sans trace de ces places décarburées.

Il est donc évident que la décarburation avait lieu lors du refroidissement par la rentrée de l'air, surtout en raison de l'absorption de certaines parties du charbon seulement.

Nous y avons remédié complétement et très-économiquement, en recuisant, à la volée, dans nos bains métalliques.

Il me reste, enfin, à appeler l'attention de la Société sur un fait accidentel qui se produit quelquefois dans la fabrication du fer. Je veux parler des fers brûlés qui se produisent lors d'une trop longue exposition à une haute température en présence de l'air.

Voici les caractères des fers *dits brûlés*, constatés par M. Jullien dans son très-remarquable traité de métallurgie.

Ces fers, quoique moins réfractaires que les fers purs, supportent assez bien le soudage et l'étirage. Si on les étire en rond de 18 à 20 m/m, ils se cassent comme du verre, et accusent une texture à grains fins demi-mat et blanc comme celui de l'acier trempé non recuit.

Or, il suffit, pour faire disparaître cette fragilité, de *les recuire en vase clos avec du charbon ou encore mieux dans un bain de laitiers.*

A quelle cause attribuer cet état singulier qu'un simple recuit fait disparaître, le fer, qui était à grains et fragile, devenant nerveux et résistant?

Karsten, notre maître en métallurgie, signale le fait sans oser se prononcer. Est-ce dû à une oxidation qu'il ne saurait trop expliquer, et qui serait analogue à celle qui donnerait lieu au couleurs si fugitives des recuits que la moindre trace d'acide fait disparaître. M. Jullien attribue ce résultat instable à l'action de l'air ou de l'un de ses composants à haute température, il n'admet pas une légère oxidation, puisque, dit-il, si le métal devient *fragile à froid*, il n'a pas changé de nature, c'est toujours du fer.

Il ajoute : « *La présence de l'azote dans les fers, fontes et aciers du commerce, constatée une première fois par M. Gaultier de Claubry, et dans ces derniers temps par M. Frémy, autorise aussi à supposer que la fragilité du fer brûlé peut être due à la solubilité des gaz, en général, dans le métal à haute température.* »

Postérieurement, M. Jullien a émis, avec réserve toutefois, l'opinion que ce fait remarquable était dû à la dissolution de l'oxigène.

En résumé, ce fait si remarquable est-il dû à une dissolution ou combinaison de l'air ou des gaz de la combustion dans le fer? Est-ce une dissolution ou pénétration de l'oxide du métal même dans la masse du corps, *de même que dans les bains métalliques nous voyons l'oxide formé à la surface se dissoudre à une haute température dans la masse du bain?* N'est-ce enfin, au contraire, qu'un état moléculaire particulier?

Je me contente d'exposer brièvement les différentes hypothèses, nous aurons d'ailleurs à revenir sur ce fait, dont une explication nette et satisfaisante jetterait un grand jour sur bien des inconnues en métallurgie.

Poursuivant cet ordre d'idées, M. Jullien se demande : « *Si le fer dissout l'azote en toute proportion, faut-il recuire tout le fer ?* »

Ici, me fondant sur des expériences répétées sur un nombre infini de pièces, je n'hésite pas à répondre affirmativement, et l'importance de ce recuit croît avec les dimensions des pièces.

Mais cette opération ne réussit bien qu'autant que vous opérez complétement à l'abri des gaz, c'est-à-dire dans des bains liquides, laitiers, verres ou de métal.

J'invoquerai à cet égard l'autorité de M. Forquenot, qui fit, après examen de résultats que je lui avais soumis, recuire des essieux en excellent fer, et qui obtint une résistance beaucoup plus grande.

J'aurai plus tard, un travail complet sur les résultats pratiques des trempes et recuits, nous aurons donc à y revenir, je le ferai avec plus d'ordre et de méthode, et d'ailleurs, je pense que le classement de tous les faits et opinions qui se sont produits dans cette discussion devra en faire un résumé indispensable pour en tirer une conclusion quelconque (1).

SÉANCE DU 19 AVRIL 1861

Présidence de M. Eugène Flachat

Il est donné lecture de la fin du mémoire de M. Love, sur la résistance des piliers.

En résumant ce mémoire on trouve, dit M. Love, qu'il renferme :

1° Une méthode d'expérimentation très-simple, propre à déterminer la résistance des piliers de toute espèce, et qui, étant de nature à être appliquée à peu de frais, sera mise en pratique par un grand nombre d'ingénieurs et d'industriels, et nous apportera prochainement une masse de faits sur les matériaux du pays ;

2° Une méthode très-simple pour interpréter les résultats obtenus et les traduire en une formule commode pour le calcul ;

(1) M. Limet fait observer que, dans la séance du 15 mars, il n'a pas parlé de ses essais de cémentation à haute pression, que c'est par erreur que le paragraphe relatif à ce sujet a été inséré au procès-verbal. Il se réserve de revenir avec plus de détail sur ce fait remarquable.

3° Le moyen d'étendre les résultats obtenus au cas des piliers à extrémités plates ;

4° Des formules pour les différentes formes de section usitées, tant pour le fer que pour l'acier ;

5° Des applications qui ont révélé un fait inconnu d'un grand nombre d'ingénieurs, à savoir le sens dans lequel une bielle présente son minimum de résistance à la compression, et la faiblesse exceptionnelle présentée par les bielles d'accouplement, dont on a attribué jusqu'ici les ruptures fréquentes à des causes secondaires qui ont pu aggraver la situation, mais qui diffèrent foncièrement de la cause réelle de ces sortes d'accidents.

M. Love annonce qu'il reviendra dans un autre travail sur les expériences dont il a déduit les formules relatives aux piliers en fer, et qu'il a dû introduire dans son premier mémoire, pour permettre la comparaison avec les piliers d'acier, et mettre immédiatement à la disposition des praticiens toutes les formules nécessaires au calcul des pièces spéciales de machines auxquelles elles se rapportent.

M. Faure a fait remarquer, dans la séance du 15 février, que la formule établie par Duleau et Bellangé, pour la résistance des piliers

$$P = K\frac{D^4}{L^2}$$

ne différant de celle de Hodgkinson que par les exposants, il y aurait lieu de demander à l'expérience, pour chaque nature de matériaux, la valeur du coefficient K valeur qu'on déduirait de la mesure des flèches prises par es solides soumis à la compression.

M. Love répond à cette observation que, pour des piliers dont le rapport $\frac{L}{D}$ variait de 100 à 200, Duleau a trouvé que, dans les 4/5 des expériences, les piliers ont cédé brusquement sans avoir pris auparavant d'inflexion, par conséquent, que la mesure des flèches serait nulle ou absolument inappréciable *à priori* pour les piliers offrant des hauteurs se renfermant dans les cas pratiques. M. Love, dit qu'en résumé, si l'on trace la courbe représentant les résultats donnés par sa formule, c'est-à-dire par l'ensemble des expériences faites, et aussi les autres fournies par les formules de Hodgkinson et de Duleau, on trouve : 1° que la première formule de Hodgkinson s'applique sensiblement pour les piliers dont le rapport de $\frac{L}{D}$ est compris entre 7,50 et 30 ; 2° que la seconde formule de M. Hodgkinson correspond sensiblement aux résultats d'expériences, faites sur des piliers pour lesquels $\frac{L}{D}$ varie entre 30 et 60 ; 3° enfin, que la formule de Duleau ne se rapproche de l'expérience que dans le cas de piliers pour lesquels le rapport $\frac{L}{D}$ est plus grand que 60, c'est-à-dire tout à fait en dehors des cas que l'on rencontre en pratique.

M. Love ajoute que toutes les autres formules théoriques ne sont pas meilleures que celles des piliers, ainsi qu'il l'a fait voir dans une brochure spéciale dont il a mis 250 exemplaires à la disposition de la Société.

Il reviendra, du reste, sur cette question dans un écrit sur le point d'être livré à l'impression, et dans lequel il recherche l'influence de la méthode spéculatrice et de la spéculation mathématique, en particulier, sur le progrès des sciences d'application.

M. Richoux analyse le mémoire présenté par M. Caron à l'Académie, à la suite du mémoire de M. Frémy. Quand on cémente avec les gaz hydrocarburés et l'ammoniaque, dit M. Caron, on produit du cyanhydrate d'ammoniaque, il en est de même dans l'expérience de M. Frémy qui, lui aussi, met en contact de l'ammoniaque et de l'hydrogène carboné, successivement, il est vrai, mais dans des circonstances telles, qu'au moment de la réaction les éléments se retrouvent en présence pour former encore du cyanhydrate d'ammoniaque. C'est encore le cyanhydrate d'ammoniaque gazeux ou les cyanures volatils qui produisent la cémentation dans les caisses. En effet, M. Saunderson a fait voir que le charbon pur ne cémente pas, et il résulte de mes expériences, dit M. Caron, que l'aciération est due à la présence de l'azote, concurremment avec l'alcali des cendres, c'est-à-dire, en général, à la formation du cyanure de potassium.

Quand on met le fer en contact avec des hydrogènes carbonés, c'est-à-dire, quand on lui donne du carbone presque libre à la température élevée qu'on emploie ordinairement dans ces sortes d'opérations, on obtient trop facilement la saturation du fer, et l'on n'a que de la fonte. Quand, au contraire, on présente au métal une matière carburée dont les éléments sont unis par une affinité énergique, que le fer ne peut vaincre que par un contact prolongé, l'aciération produite à la surface des barreaux ne dépasse pas la limite convenable, avant que le fer ne soit cémenté jusqu'au centre.

Les seules combinaisons du carbone, qui soient indécomposables et volatiles, sont les cyanures alcalins; ce sont donc les cyanures seuls qui cémentent, du moins aux températures des fours de cémentation; car on peut cémenter à une température plus basse avec des substances gazeuses autres que les cyanures, et contenant du charbon *sans azote*. Ainsi le gaz des marais et le gaz d'éclairage (qui contient du gaz des marais en quantité considérable) que l'on fait passer à la température du rouge franc sur du fer, produisent une cémentation qui n'est pas aussi rapide, mais qui est aussi belle que celle des cyanures.

Ces expériences font voir que, pour obtenir la transformation du fer en acier, il faut que l'agent de cémentation puisse apporter le charbon à l'état de combinaison jusque dans les pores du fer, où ce métal se l'approprie à l'état naissant.

Les céments employés en industrie ayant généralement peu d'activité, il arrive souvent que les pièces, tout en ayant acquis, à l'extérieur, les propriétés de l'acier, ont perdu, à l'intérieur, les qualités du bon fer; le métal, de nerveux qu'il était, est devenu cristallin, et l'on n'a obtenu que

du mauvais fer, recouvert d'une couche d'acier. Ce défaut tient à ce que le fer, longtemps maintenu à la température rouge, s'est modifié pour prendre une texture cristalline.

On ne remédie à cet inconvénient que par l'emploi des céments ammoniacaux, mais ceux de ces céments employés en industrie n'ont, à cause de leur volatilité, qu'une action très-limitée; et les fabricants qui le savent ont soin de substituer la suie à la savate brûlée, lorsqu'ils ont à cémenter un peu profondément; c'est qu'en effet la suie contient des sels de potasse beaucoup moins volatils que ceux d'ammoniaque, et par conséquent possédent une action plus durable qui permet d'élever un peu plus la température, et d'opérer avec assez de rapidité pour que les pièces ne soient pas altérées par la chaleur.

Le problème de la cémentation est donc ramené à la recherche d'un cément aussi actif que ceux employés jusqu'ici, mais assez peu volatil pour pouvoir servir à une température plus élevée.

On y parvient en employant un cément formé de trois parties de charbon et d'une partie de carbonate de baryte ou de strontiane.

Le carbonate de baryte, en contact avec le charbon à la chaleur rouge, ne peut donner que de la baryte, corps complétement fixe, ou bien, avec le concours de l'azote de l'air, que du cyanure de barium, qui est infiniment moins volatil que les autres cyanures alcalins. La baryte ou ses composés, après avoir donné du charbon au fer, peut être régénérée par l'oxide de carbone qui existe toujours en même temps que l'azote dans les caisses de cémentation.

Des expériences exécutées à l'usine de Montataire ont montré que le mélange, ci-dessus indiqué, donne, en une demi-heure, la cémentation superficielle qu'on n'obtient qu'en quatre ou cinq heures par les autres procédés; seulement, la température doit être plus élevée.

On a, en outre, l'avantage d'avoir un cément presque inusable, auquel il suffit d'ajouter, de temps à autre, un peu de charbon pour remplacer celui qui se brûle accidentellement.

Quand il s'agit de cémenter à cœur, les résultats donnés par le carbonate de baryte sont tout aussi beaux, ils permettent même de réaliser les cémentations à feu continu, car, le cément étant pour ainsi dire inusable, il suffit de construire le four, de manière à pouvoir retirer le fer des caisses pour le remplacer par d'autres fers. Quant à l'azote, on n'a pas besoin de s'en préoccuper, il pénètre partout et à travers presque tous les corps.

En résumé, dit M. Caron, il résulte de l'ensemble de mes recherches :

1° Que dans la cémentation industrielle, l'aciération est toujours produite au moyen d'un cyanure qui se forme naturellement dans les caisses de cémentation, par l'action réciproque du charbon, de l'azote et des alcalis qui s'y trouvent; c'est pourquoi la présence de l'azote y est indispensable;

2° Que néanmoins, dans certaines circonstances, il est possible de cémenter en dehors de la présence de l'azote; ce qui prouve ***que l'acier n'est pas un azoto-carbure de fer;***

3° Que pour cémenter il faut, et il suffit, que l'agent de cémentation soit un composé carburé gazeux ou volatil, en même temps qu'indécomposable par la chaleur, à la température que l'on emploie ; de cette façon, le charbon est apporté à l'état de combinaison jusque dans les pores du fer, où ce métal se l'approprie à l'état naissant ;

4° Que le carbonate de baryte naturel mélangé de charbon est susceptible de devenir un des agents de cémentation les plus industriels et les économiques, à cause de son inaltérabilité et de sa puissance.

M. LE PRÉSIDENT, après avoir résumé les discussions de la dernière séance, fait remarquer que MM. La Salle et Jullien contestent que l'acier soit un azoto-carbure de fer, tandis que M. Limet paraît admettre que l'azote reste dans l'acier ; que MM. La Salle et Jullien, tout en reconnaissant aux matières azotées une certaine efficacité comme cément, nient leur rôle en tant qu'azote, et ne les considèrent que comme des composés propres à servir de véhicule au carbone pour le porter au fer, dans des conditions qui en favorisent la dissolution.

Cette opinion paraît hardie, en présence des résultats scientifiques de M. Frémy, alors qu'on ne peut la soutenir par des expériences ou des analyses venant démontrer que, si M. Frémy a trouvé de l'azote dans tous les aciers du commerce, cet azote ne s'y trouvait qu'accidentellement, ou tout au moins qu'il n'importait pas à sa constitution.

M. LIMET répond qu'il n'a constaté qu'une chose, c'est que, toutes les fois qu'on fait intervenir dans les creusets des matières azotées au moment convenable, la cémentation est beaucoup plus belle ; que d'ailleurs, si les métalloïdes tels que le soufre, le phosphore, etc., ont une influence si nuisible, il n'y a pas de motif de nier *à priori* l'efficacité de l'azote. La seule question est de savoir si l'azote, *reconnu efficace*, peut être facilement introduit dans la pratique industrielle. On doit, d'ailleurs apporter une grande réserve dans l'appréciation des résultats obtenus dans les essais, car il y a un grand nombre de faits inexpliqués des transformations physiques, qu'on attribue souvent à des transformations chimiques, et réciproquement.

M. JULLIEN rapporte qu'il a employé une tonne de graphite pour opérer la cémentation, et qu'il a obtenu des résultats tout aussi beaux qu'avec du charbon de bois ; par conséquent, que si ce dernier corps retient toujours de l'azote, ce n'est pas par ce motif qu'il agit.

UN MEMBRE fait observer qu'il y aurait une grande utilité à connaître la composition réelle de l'acier, car de là dépend l'avenir de notre industrie.

Nous n'avons plus, en France, d'aciers comparables à ceux qu'on faisait autrefois ; bien que la qualité des aciers inférieurs s'améliore, il est vrai, sensiblement. Mais celle des aciers supérieurs s'est, en général, affaiblie. Cela provient de l'emploi de plus en plus restreint des fers de Suède, pour la fabrication des aciers de premières marques, et l'introduction sur une grande échelle des aciers puddlés, provenant de fontes obtenues au moyen des minerais aciéreux de France, de Corse et d'Algérie dans la fabrication des aciers inférieurs.

Un Membre dit qu'autrefois les aciers corroyés de bonne qualité étaient faits avec 75 p. 0/0 de fers de Suède, et 25 p. 0/0 de fers aciéreux du Midi, aujourd'hui la proportion des fers de Suède diminue et on y substitue des fers du Midi obtenus par la méthode catalane.

M. Limet fait observer que les fers puddlés peuvent donner d'excellents aciers. Les minerais des Pyrénées, qu'on regardait comme intraitables par la méthode anglaise, se traitent maintenant par cette méthode dans l'Ariége. Les fers aciéreux obtenus par le puddlage des fontes provenant de ces minerais, sont beaucoup plus homogènes que ceux qu'on obtient en les traitant par la méthode catalane.

Ces fers nous étant enlevés par les fabricants anglais, on peut en conclure qu'ils savent en tirer un excellent parti, et aussi que nous devons pouvoir trouver une méthode capable de leur faire produire de bons aciers.

SÉANCE DU 3 MAI 1861

Présidence de M. Eugène Flachat

Le Président rappelle que dans, l'avant-dernière séance, M. Faure ayant donné communication d'un nouveau régulateur à boules de M. Farcot, cet appareil fut critiqué par M. Laurens, et que cette critique n'ayant pu être discutée en l'absence de M. Farcot, il y a lieu de savoir si la Société n'est pas d'avis que l'insertion faite au procès-verbal ne soit reproduite dans le Bulletin qu'avec la discussion à laquelle ce régulateur pourra donner lieu dans une prochaine séance.

La Société consultée approuve cette motion.

M. Siéber donne lecture d'un mémoire sur la cause des ruptures des plateaux mobiles pour plaques tournantes en fonte et sur une nouvelle disposition des membrures propre à prévenir ces accidents. Ce mémoire peut se résumer ainsi :

Les premières plaques tournantes en fonte, employées en France, furent posées sur béton. Cette fondation constituait en quelque sorte une enclume sur laquelle le plateau mobile, sans cesse battu par le choc des roues d'avant des machines, devait se rompre en peu de temps.

L'expérience fit parer à cet inconvénient en remplaçant la couche de béton par une bonne couche de ballast, mais les ruptures du plateau n'en persistèrent pas moins. Ces ruptures ayant lieu généralement à l'intersection des rails, c'est-à-dire aux points où la voie rencontre une solution de continuité, on les attribua aux chocs produits par le passage des roues sur

cette lacune; et on tenta d'y remédier en continuant les rails de la voie destinée au passage des trains, sans les couper pour le passage de la voie transversale.

Les ruptures persistèrent malgré cette modification.

On fut conduit à augmenter la section des pièces et à changer la distribution du métal. Les poutres avaient la forme d'un simple T, on ménagea une nervure cylindrique à l'intersection des membrures ou poutres principales, de manière à faciliter le retrait. On leur donna alors la forme d'un double T, et on répartit le métal des nervures supérieures et inférieures dans le rapport des résistances à la compression et à la traction de la fonte. On fit alors les plaques en deux pièces, les ruptures furent moins fréquentes, mais persistèrent.

De ces faits M. Siéber conclut que les ruptures observées ne sont pas dues au retrait de la fonte, mais à une mauvaise disposition des membrures.

Il fait remarquer que le point de plus grande flexion des poutres correspond sensiblement pour les plaques de moyenne grandeur à l'intersection des membrures, attendu que, par suite de l'élasticité du ballast et de l'ensemble de la plaque, on ne peut compter sur l'appui que devraient fournir les membrures de la voie perpendiculaire à celle sur laquelle on suppose la charge; que dans ces circonstances les deux poutres qui travaillent se trouvent formées par un des bras du croisillon et la partie de la membrure qui s'étend du point d'intersection des voies à la circonférence; c'est-à-dire affectent une forme brisée qui diminue leur résistance à ce point, que l'expérience a montré qu'il y avait avantage à changer la disposition du croisillon pour ramener les poutres à la forme rectiligne; ce qu'on fait en dirigeant les bras de cette pièce perpendiculairement aux membrures, au lieu de les faire aboutir à l'intersection des voies. Enfin M. Siéber montre que la meilleure disposition à donner aux membrures de la plaque consiste à maintenir les bras du croisillon central dans la direction d'un rayon, et à le prolonger de manière à le faire aboutir jusqu'à la couronne de roulement.

Une plaque ainsi construite a duré cinq ans sans ruptures, tandis que toutes les plaques posées au même endroit devaient être enlevées au bout de cinq à six mois.

En l'absence de M. Nozo, le Président résume la note de celui-ci sur les nouvelles machines locomotives du chemin de fer de Lyon à la Méditerranée, à huit roues couplées, système Beugniot, construites par MM. André Kœchlin, de Mulhouse.

Ces machines locomotives sont analogues dans leur composition générale et les dimensions élémentaires des cylindres et roues, à la machine Engerth à huit roues couplées du chemin de fer du Nord, à laquelle elles peuvent être comparées. Elles sont, après elles, le second type connu des machines de plus grande puissance. Leur chaudière a une dimension moindre, et le foyer est notablement plus petit, leur surface de chauffe est de 173^{m}; celle de la machine du Nord est de 196. Elles s'appuient également sur le tender qui porte au repos une petite fraction du poids total de la machine, mais en empêche les oscillations verticales dans la marche. Apprêtées pour le service

elles pèsent, tender non compris, 47,300 kil., et tender compris 70,850 kil. Soit 11,820 par essieu de la machine, au lieu de 9,820 kil. dont sont chargés les essieux de la machine du Nord.

Les traits distinctifs de ces machines sont dans l'addition au châssis fixe de deux châssis mobiles. Le châssis fixe porte huit boîtes à graisse, qui laissent aux fusées des huit essieux un jeu latéral de 25 millimètres. Ce jeu permet aux essieux de se porter à droite ou à gauche de l'axe longitudinal de la machine, dans la position exigée pour que les points de contact des roues sur les rails puissent s'inscrire dans les courbes de la voie.

Les deux châssis mobiles forment chacun, comme le grand châssis, un parallélogramme, et portent chacun aussi quatre boîtes à graisse qui retiennent deux essieux par deux tourillons, sans laisser de jeu à ceux-ci. Ces châssis sont susceptibles de pivoter sans que l'amplitude du pivotement puisse excéder le jeu laissé aux boîtes à graisse du châssis fixe, c'est-à-dire 25 m/m.

Les quatre essieux sont ainsi divisés en deux systèmes de deux essieux, dépendant absolument l'un de l'autre, maintenus toujours parallèles entre eux.

De là plusieurs conséquences : c'est d'abord que la distance entre les deux essieux étant très faible, il suffit aussi d'un très faible jeu (25 m/m), pour que les points de contact des roues sur les rails s'inscrivent dans une courbe de 100 mètres, sans pression nuisible des saillies des bandages contre la paroi latérale intérieure des champignons des rails.

C'est encore, que le mouvement de droite à gauche qui ne manquerait pas de se produire capricieusement dans des essieux livrés isolément à eux-mêmes par le jeu des boîtes à graisse, mouvement si nuisible à tous les assemblages, est annullé par la solidarité qui existe entre les deux essieux saisis et contenus par leur châssis mobile.

Enfin, avec l'emploi de quatre boîtes à graisse par essieu (deux sur tourillons, deux sur fusées), la pression par centimètre carré a été tellement diminuée sur les fusées, que les essieux peuvent obéir sans le moindre choc au mouvement de glissement qui leur est imprimé par le châssis mobile. L'égale répartition du poids de la machine sur les essieux est encore aidée par l'emploi de seize ressorts (un par boîte à graisse), dont la flexibilité a pu être plus grande que dans les machines ordinaires.

On peut se rendre compte, par ce qui précède, de l'avantage avec lequel les nouvelles machines se prêtent au passage dans les courbes, puisque cet avantage a pour expression relative la distance entre les essieux extrêmes supportant un châssis fixe.

Dans la machine Engerth du chemin du Nord, la distance dont il s'agit est de 3^m 95 ; et dans la machine de M. Beugniot, elle est de 1^m 36.

Les quatre essieux moteurs de la machine du Nord ne pourraient pas être plus espacés sans éprouver de notables résistances par le frottement dans les courbes de nos grandes lignes, tandis que chacun des éléments de deux essieux de la machine Beugniot peut être plus distant sans affecter le passage de la machine dans ces courbes. Il en résulte que la nouvelle disposition permettrait d'allonger le corps tubulaire et d'aug-

menter la dimension du foyer, si la charge sur les essieux n'y était un obstacle. Mais comme les machines à trois essieux moteurs, qui ont, entre leurs essieux extrêmes, un écartement de 3m20, circulent sans danger de déraillement dans des courbes de 150 mètres de rayon ; que les essieux placés sous un châssis à pivotement du système de M. Beugniot franchiraient plus facilement encore les mêmes courbes, le nouveau système peut s'étendre sur les grandes lignes, à des machines à cinq ou six essieux couplés répartis sous deux châssis mobiles. Ce système de la machine Beugniot se prête ainsi à l'emploi de locomotives d'une très-grande puissance sur des chemins de fer tracés en courbes de très-faible rayon.

Le second point par lequel la locomotive Beugniot se distingue de la machine du Nord, c'est l'accouplement des quatre essieux.

Dans la machine du Nord, qui est, sans contredit, le plus beau spécimen de machine à grande puissance qui ait encore été produit et dont nous nous gardons bien de critiquer l'emploi sur nos grandes lignes ; dans cette machine, disons-nous, l'accouplement des essieux par les bielles s'opère suivant une ligne toujours parallèle à l'axe de la machine, et on met le plus grand soin, dans l'entretien, à lui conserver cette condition. Dans la nouvelle machine, la ligne générale des bielles d'accouplement est brisée en deux points. Cette ligne a ainsi dans les courbes quatre directions différentes, de sorte que les huit bielles travaillent, deux par deux, parallèlement entre elles, mais en affectant, avec celles qui les suivent ou les précèdent, la direction angulaire exigée par le déplacement des essieux.

Cette innovation hardie eût soulevé des discussions sans fin, si elle eût été proposée avant que l'expérience l'ait sanctionnée. Elle a réussi malgré les difficultés que semblait devoir y opposer le raccourcissement de la distance entre les essieux, quand la roue cessait de s'inscrire exactement dans un parallèlogramme ; et le succès en est d'autant mieux établi que les roues de cette machine sont plus chargées que celles de la machine du Nord ; que la pression dans la chaudière est plus élevée ; et qu'ainsi l'effort transmis par les bielles a été plus considérable que dans la machine du Nord.

Il résulte en effet des comptes-rendus de l'emploi de ces machines, qu'elles exercent souvent un effort de traction de 7,500 kilogrammes, sans inconvénient pour l'accouplement.

Arrêtons-nous ici, pour examiner la confusion dans laquelle M. Beugniot nous paraît être tombé lorsqu'il présente, comme un des résultats de l'agencement de sa machine, l'effort de traction qu'elle a exercé et qu'elle a pu maintenir d'une manière continue.

L'effort statique de traction qu'une machine peut *exercer* sur ses bielles dépend uniquement de la pression dans les cylindres et de la section de ceux-ci. L'effort dynamique qu'elle peut *maintenir* dépend : 1° de la production de vapeur, à la pression que peuvent supporter les soupapes ; 2° de l'emploi de cette vapeur.

La *production* de la vapeur dépend à son tour de la surface de chauffe et de l'intensité de la combustion produite par le tirage.

L'*emploi* de la vapeur dépend de sa bonne distribution dans les cylindres,

Mais ces règles ne sont pas absolues : c'est ainsi qu'avec un foyer relativement faible, où la combustion sera sollicitée par un tirage intense, une machine pourra produire beaucoup de vapeur. Mais si l'appareil tubulaire n'absorbe pas la chaleur dans des conditions normales, c'est-à-dire s'il envoie dans la cheminée des gaz conservant une température très supérieure à celle qui correspond à la pression de la vapeur dans la chaudière, si tous les gaz combustibles ne sont pas brûlés, le combustible sera mal employé, il produira une moindre quantité de vapeur ; mais cette quantité ne dépendra plus que de l'activité de la combustion, et il est établi, par des expériences récentes, que la production de vapeur dépasse, dans les conditions d'un tirage très-intense, tout ce que l'on avait supposé.

On ne peut, en conséquence, affirmer qu'une machine a maintenu un effort de traction supérieur à celui qu'on a pu tirer d'une autre machine, ayant une surface de chauffe plus grande et la même dimension de cylindres, de roues, etc., qu'à la condition d'indiquer comment cet effort a été obtenu, c'est-à-dire la quantité de combustible consommé et celle de la vapeur produite.

Assurément la chaudière des locomotives a une puissance de production supérieure à toutes les autres, parce que la combinaison de l'appareil tubulaire et d'un tirage exceptionnel lui donne, à cet égard, une élasticité que personne n'avait soupçonnée ; mais la relation entre le foyer, considéré comme appareil de production de chaleur, et le corps tubulaire, considéré comme appareil refrigérant des gaz produits par combustion, doit être établie d'après des proportions qui, si elles sont méconnues, ont pour conséquence un mauvais emploi du combustible.

C'est pour cela que nous ne pouvons accepter le lien que M. Beugniot a voulu établir entre la faculté de maintenir un effort de traction exceptionnel et les dispositions fort ingénieuses par lesquelles il a donné à ses machines la faculté de franchir les courbes de faible rayon en leur conservant une complète stabilité aux vitesses pratiques du service auquel elles sont destinées.

Des expériences que nous avons relatées ailleurs, il résulte que la machine Engerth du Nord peut maintenir un effort de 5860 kil. d'une manière continue à la vitesse de $4^{m},60$ par seconde. Le travail est ainsi de 27000 kilogrammètres par seconde ; le travail par mètre carré de surface de chauffe est de 138 kilogrammètres, et la production de vapeur de 27 kil. 83. Le kilog. de houille a vaporisé 9 kil. 2 d'eau. La durée du trajet ayant été de 1 heure 22 minutes, la houille du foyer et l'eau dans la chaudière ont été entièrement renouvelées pendant la marche. Ce sont là les conditions normales d'un essai.

La machine de M. Beugniot a fait un effort de traction, dans les mêmes conditions d'inclinaison (rampe de 5^{mm}), de 7270 kilog. à 4^{m}. par seconde, soit un travail de 29080 kilogrammètres, et un travail par mètre carré de surface de chauffe de 168 kilogrammètres. Tous les indices manquent pour expliquer ce remarquable résultat, la quantité d'eau vaporisée, le combustible consommé, la pression dans la chaudière..., les éléments

enfin susceptibles d'être comparés avec les expériences faites d'une manière plus complète sur la machine du Nord.

Il ne faut accepter le résultat ci-dessus qu'à titre de démonstration, prouvant que l'agencement utile pour franchir les courbes de très-faible rayon sur de fortes rampes ne nuit nullement à la puissance de la machine.

A cet égard le résultat est obtenu sans contestation possible, et il est d'une importance qu'il est inutile de faire ressortir. Faire circuler dans des courbes de 100 mètres de rayon une machine susceptible d'exercer un effort de traction aussi considérable, sans que la situation des roues engendre aucun frottement de glissement contre les parois des rails, et sans désordre dans l'accouplement des essieux par les bielles, est un progrès qui continue celui par lequel l'ingénieur Engerth a si heureusement résolu les difficultés que les ingénieurs avaient trouvé jusqu'à lui pour concilier, dans les machines locomotives, la puissance, la flexibilité et la stabilité.

La machine de M. Beugniot a un poids servant à l'adhérence de 47300 kil.; elle pourrait, si sa surface de chauffe était suffisante, faire sans crainte de patinage un service correspondant à un effort de 7860 kilog., soit le sixième du poids ci-dessus. Il est donc à regretter que le poids des appareils, qui servent à donner à la machine sa flexibilité, ait obligé à réduire la surface de chauffe. Sous ce rapport la machine du Nord lui est très-supérieure, car son poids n'est que de 206 kilog. par mètre carré de surface de chauffe, tandis qu'il est de 282 kilog. dans la machine de M. Beugniot.

Les conséquences de cette comparaison seraient, que le système nouveau ne pourrait se prêter utilement à la construction de machines d'une puissance égale ou supérieure à celle du chemin du Nord, qu'en augmentant le nombre des essieux, c'est-à-dire en ajoutant sous chaque châssis mobile un essieu de plus ce qui accroîtrait la distance entre les essieux extrêmes, et exigerait en proportion l'accroissement du rayon des courbes que les machines pourraient franchir.

La discussion des dispositions de la nouvelle machine peut avoir un grand intérêt.

Dans la machine Engerth, comme dans celle de M. Beugniot, qui a emprunté à la première le point d'appui sur le tender; les difficultés sérieuses sont l'augmentation des dimensions du foyer, et aussi d'étendre l'accouplement qu'on doit porter aux roues du tender lorsqu'il convient d'employer l'adhérence du poids entier de la machine et de son approvisionnement.

Ce sont ces difficultés que MM. Larpent et Gouin ont voulu résoudre par un balancier compensateur du raccourcissement et de l'allongement résultant du déplacement des essieux.

La relation de la dimension du foyer avec la surface tubulaire, la préférence à accorder à surface égale aux tubes longs sur les tubes courts, l'élévation continue de la pression limité, toutes ces questions reviennent de nouveau dès qu'il s'agit de l'augmentation de la puissance des machines.

M. Edmond Roy dit que, l'année dernière, la Compagnie d'Orléans ayant fait modifier une machine à 6 roues, suivant le système de M. Beugniot, cette locomotive n'a pu passer dans les courbes de 80 mètres de rayon

d'un chemin de fer d'expérimentation, qu'il a fait construire pour des essais à lui.

La machine de M. Beugniot n'est point la seule qui, tout en cherchant à satisfaire au passage dans les petits rayons, exerce de puissants efforts de traction, attendu que sa locomotive qui parcoure les courbes de 80 mètres de rayon de son chemin d'essai, à la vitesse de 25 kilomètres à l'heure, a exercé un effort de traction permanent de 3712 kilog. sur une rampe presque continue de 0,015 sur 9 kilomètres de longueur, en remorquant un train de 15 voitures chargées entre la Presle et Commentry (ligne de Moulins à Montluçon).

M. Le Président fait observer à M. Edmond Roy que les machines à 6 roues couplées, que la Compagnie du chemin de fer de Lyon a fait modifier suivant le système de M. Beugniot, n'ont pas été disposées en vue de passer dans des courbes de 80 mètres de rayon, l'écartement entre les essieux extrêmes est, dans ces machines, où trois essieux sont solidaires, beaucoup plus grand que dans les machines décrites par M. Nozo, où les essieux solidaires ne sont espacés que de $1^{m},36$, d'ailleurs le jeu laissé aux essieux par le constructeur dépend absolument du rayon des courbes, pour lequel il entend disposer la machine.

Quant à l'effort de traction, il répète que c'est là une question à considérer en dehors d'un agencement de machine, ayant pour but d'accroître sa flexibilité; que la puissance de traction des locomotives est très-variable, que l'on peut pendant un temps assez court leur faire exercer un effort de traction n'ayant de limite que l'adhérence, et qui est par conséquent bien supérieur à celui qui répond à une marche normale, en pleine charge, très prolongée. Qu'aussi les Engerth du Nord, qui peuvent pendant un temps assez court et par un beau temps exercer des efforts de traction de 10000 kilogrammes, n'exercent qu'un effort de 6000 kilogrammes au plus en marche normale à pleine charge, et que cette question ne touche en rien à celle de la disposition du système de M. Beugniot, ou de M. E. Roy; et n'a pas d'intérêt au point de vue de la discussion de ces systèmes.

M. Edmond Roy fait observer qu'il n'a point eu l'intention, quant à présent, d'entrer dans la discussion des dispositions adoptées par M. Beugniot, qu'il n'a voulu que constater deux faits en réponse à la communication qu'a bien voulu faire M. le Président, savoir : qu'on a essayé de faire passer une locomotive de M. Beugniot dans les courbes de 80 mètres de rayon, et qu'elle n'a pas pu y passer, tandis que sa locomotive, circulant parfaitement dans les rayons de 80 mètres avec ses 8 roues accouplées, a exercé des efforts de traction aussi considérables que celle de M. Beugniot.

M. Le Président expose les études entreprises par plusieurs membres de la Société, pour mettre ses travaux et son Bulletin au niveau des progrès qui ont surgi dans ces dernières années, et dont elle n'a pas eu l'occasion de s'occuper dans ses séances.

Ce n'est que par les discussions des Sociétés savantes ou par les ouvrages qu'ont accomplis récemment les ingénieurs, que nous pourrons étudier la marche des grandes et nouvelles applications industrielles.

Nous avions prié M. de Dion, au moment où il a dû entreprendre un double voyage transatlantique, de profiter de cette occasion pour résumer et exposer ici l'état des connaissances de l'ingénieur quant aux règles appliquées à déterminer la résistance à la marche en mer des navires à vapeur de grandes dimensions. Les débats qui ont eu lieu dans la Societé des ingénieurs civils d'Angleterre; les travaux hors ligne de nos ingénieurs de la marine; les travaux scientifiques présentés à une Société anglaise devenue déjà célèbre, celle des ingénieurs d'architecture navale, donnent à cette question un grand intérêt. Il n'est pas besoin de dire combien elle est opportune en ce moment où la construction en fer des navires de grandes dimensions devient pour presque toutes les nations une nécessité et une des branches les plus intéressantes de l'art de l'ingénieur.

M. Mallac a bien voulu se charger de reproduire par extraits les récents travaux des ingénieurs, sur les avantages comparatifs de la construction des navires en fer sur les navires en bois: sur les modifications que l'emploi du fer doit amener pour donner aux coques la forme de plus grande résistance aux déformations; et enfin sur la figure que l'industrie de la fabrication du fer doit donner aux fers sortant du laminoir, pour leur meilleur emploi dans la construction des coques.

M. Yvan Flachat s'est chargé d'analyser les nouvelles données de l'art de la construction produites par les grands travaux du pont Victoria devant Montréal, et qui abondent dans le grand ouvrage de l'ingénieur Hodges. L'état climatérique de la contrée, faisant succéder le froid le plus intense à une chaleur tropicale, exige l'emploi de moyens adaptés à chacun des régimes d'hiver et d'été d'un fleuve dont les moindres caprices sont aussi inattendus que redoutables, ce qui donne beaucoup d'intérêt à ce travail.

Le même ingénieur s'est également chargé de reproduire les points intéressants des discussions qui se sont élevées dans le sein de la Société des ingénieurs civils anglais, sur la forgerie des grosses pièces de fer.

Le concours que l'industrie privée a donné en Angleterre à la fabrication des armes de guerre a étonné tout le monde. Sous l'influence des encouragements de l'opinion publique et du gouvernement, des constructeurs tels qu'Armstrong et Whitworth se sont placés en tête d'un art dont les progrès intéressent directement la puissance politique des nations et la paix du monde, et dont, pour cela même, les gouvernements se réservent l'application. Un mémoire qui contient un exposé de ces récents procédés a obtenu un prix à la même Société, et M. Doublet s'est chargé de nous en présenter l'analyse.

M. Limet vous entretiendra régulièrement des phases de la question de la composition de l'acier, sur laquelle les savants travaux de M. Frémy ont jeté une lumière aussi vive qu'inattendue; il y joindra le résultat des expériences qu'il est, mieux que personne, à même de suivre, sur les moyens de gratifier l'industrie, par des procédés courants et économiques, des résultats scientifiques obtenus par les analystes.

La construction des travaux à la mer a fait aussi de très-sensibles progrès. Les procédés d'exécution, l'outillage, l'installation des chantiers ont

été entièrement modifiés. Les formes des ouvrages, la nature et la disposition des matériaux, les méthodes employées pour obtenir leur bonne qualité et leur résistance se sont également transformées. Ce sont des données nouvelles auxquelles les sociétés d'ingénieurs étrangers ont attaché un vif intérêt.

M. Yvert s'est chargé de les recueillir et de vous faire part des mémoires les plus dignes d'attention qui y ont été lus et des débats auxquels ils ont donné lieu.

MM. Goschler et Verrine vous présenteront l'analyse des travaux du souterrain d'Hauerstein qui a nécessité l'application de procédés d'aération sur lesquels on pourrait regretter de trouver très-peu de renseignements dans les publications faites jusqu'à ce jour. Les ingénieurs allemands nous ont donné à cet égard un exemple à suivre. C'est de l'une de leurs plus utiles publications qu'il s'agit ici.

Plusieurs membres de cette Société nous ont manifesté l'intention de nous entretenir des circonstances qui ont fait échouer les tentatives de télégraphie sous-marine ; mais les faits sont tellement obscurs, les documents si dispersés et si contradictoires que nous n'attendons pas un résultat prochain de ces études.

Parmi les questions d'un grand intérêt public que le traité de commerce a soulevées, il en est une que les ingénieurs civils sont plus à même que d'autres d'étudier avec fruit, au moyen de leurs rapports intérieurs avec l'industrie manufacturière ; ce sont les prix de main-d'œuvre et les progrès de l'outillage spécial de fabrication, dans les pays qui sont nos rivaux sur les marchés étrangers et sur le nôtre même. M. Calmette, qui a de fréquentes occasions de visiter les manufactures étrangères et auquel ses antécédents donnent à cet égard une expérience précieuse, a bien voulu nous donner son concours dévoué dans cette étude.

M. Limet, chargé de résumer les discussions qui ont eu lieu sur la composition des aciers, dit qu'en présence de faits nouveaux qui sont contestés par plusieurs membres de la Société, et dont les conséquences pratiques restent encore à établir, il ne peut qu'essayer de poser la question à résoudre.

L'étude de la constitution des aciers comprend implicitement celle des fers et des fontes, et cet énoncé seul suffit pour en faire apprécier la complexité.

Les analyses, les recherches, qui, à un point de vue général, devraient être d'une si haute utilité et qui sont malheureusement trop négligées en industrie, conduisent à des incertitudes presque absolues lorsqu'elles sont faites dans des laboratoires. Et cela, parce que les savants qui s'y livrent sont presque toujours mal renseignés et dans l'ignorance des causes originelles des produits qu'ils ont à apprécier.

C'est donc une véritable bonne fortune, lorsqu'un homme éminent, un des princes de la science, vient à énoncer une nouvelle découverte avec des caractères de généralité qui forcent à l'examen et à la discussion.

C'est bien dans ces conditions que la découverte de M. Frémy nous est

parvenue au milieu de la discussion sur le procédé Bessemer. Simultanément, M. Carron faisait ses communications à l'Académie des Sciences. M. Limet rappelait ses travaux presque identiques, datant déjà de trois années. Enfin, nous avons eu le développement de la théorie de M. Jullien, les notes de M. La Salle et les discussions reproduites dans nos comptes-rendus.

Tels sont les documents à résumer, sinon pour en tirer une conclusion définitive, au moins pour indiquer la voie des recherches et des vérifications pratiques.

Mais avant, il convient d'examiner où en était la question lorsque le rôle important réclamé par *l'azote* dans la constitution des fers, fontes et aciers, est venu jeter l'émoi parmi le monde métallurgique, et soulever de si vives réclamations.

On avait admis, jusqu'alors, *le carbone* comme le seul constituant utile de ces composés du fer. On était donc forcé d'admettre une certaine inconnue qu'on appelait *la propension aciéreuse*, pour expliquer les propriétés remarquables de certains fers à se transformer en acier; ce qui n'expliquait absolument rien.

M. Leplay, dans un mémoire célèbre (*Annales des Mines*, 1846) sur la fabrication des fers à aciers, proclame hautement que rien ne peut remplacer cette inconnue *la propension aciéreuse* ou *le corps*. Il ajoute, avec raison, que l'analyse est insuffisante puisqu'elle ne justifie pas par des différences de constitution les différences considérables qui existent entre les propriétés aciéreuses, non-seulement des fers, mais encore des minerais. Et il conclut que les fers de Suède, puis ceux de Russie et de Sibérie sont et doivent être les seuls fers à aciers pour notre fabrication.

A cette époque, M. Leplay était, à juste titre, sous l'empire d'idées qui avaient fait la fortune de nos aciers par l'importation de toutes pièces des procédés anglais; mais, n'est-ce pas aller trop loin, que de proscrire résolument toutes les tentatives faites pour l'utilisation de nos excellents minerais, à la fabrication de fers à aciers que préconisait déjà un autre ingénieur des Mines, M. François? Rapprochement bizarre à faire actuellement! M. François, défendant la qualité et l'excellence de nos minerais pyrénéens pour la fabrications des fers à aciers, demandait le maintien des droits protecteurs, afin d'assurer cette fabrication, tandis que M. Leplay demandait l'abaissement de ces droits pour assurer l'avenir de nos aciéries par l'introduction des fers suédois. Or, c'est récemment seulement, et au moment où se faisait le traité avec l'Angleterre, que les idées de M. François ont reçu leur consécration. L'un de nos plus habiles fabricants d'aciers, M. Jacob Haltzer vient, en effet, de monter près de Perpignan, aux Pyrénées, là où, jusqu'alors, régnait uniquement la méthode catalane, deux hauts-fourneaux au bois, et ces hauts-fourneaux produisent de la fonte aciéreuse d'une qualité telle que les Anglais offrent de tout prendre à des prix élevés.

L'extension considérable de nos aciéries, la nécessité de trouver, à des prix possibles, des fontes et des fers aciéreux, ont plus fait que les indi-

cations scientifiques, et tous nos maîtres de forges sont entrés largement dans cette voie; MM. Petin et Gaudet exploitent leurs hauts-fourneaux de Toga, en Corse; MM. Verdié, ceux de l'Alelik, près de Bone; MM. Jackson en construisent aux Pyrénées, pour exploiter le procédé Bessemer.

Nous pouvons donc nous dire aujourd'hui en possession de fers et de fontes dont *la propension aciéreuse est reconnue et constatée par la pratique.* Mais fers de Suède, d'Afrique ou des Pyrénées, peu importe pour la question qui nous occupe ; à quoi est due leur propension aciéreuse si remarquable? Pourquoi des fers au bois très-purs, d'autres provenances, se transforment-ils si difficilement en aciers ou ne donnent-ils que des aciers inférieurs? Peut-on l'attribuer aux matières étrangères que l'analyse accuse également dans les meilleurs fers de Suède? Admettant dans tous les cas la pureté comme la condition indispensable dans la fabrication des aciers, doit-on chercher un nouvel élément d'aciération? L'*azote*, qui aurait échappé aux investigations, et l'introduction de ce nouvel élément, donnera-t-il la propension aciéreuse aux fers qui en sont dépourvus?

Les essais et les expériences à faire étant simples et faciles, nous ne pouvons qu'y renvoyer. Pour notre part, comme elles font suite à celles que nous avons faites il y a trois ans, nous les avons reprises et bientôt nous pourrons vous en communiquer les résultats.

Au point où en est arrivée l'industrie des aciers en France, il n'est pas à craindre, ainsi que le manifestait M. La Salle, que de pareils essais puissent *la faire reculer aux temps désastreux de Réaumur.*

La question ainsi posée, nous parcourerons rapidement nos discussions pour y trouver des motifs à l'appui.

Les métalloïdes, tels que le silicium, le soufre, le phosphore étant écartés, d'un commun accord, par toutes les théories aussi bien que par la pratique, de tout acier de bonne qualité.

1° Suivant tous les métallurgistes, ce corps est formé *de fer et de carbone*, ce dernier, à l'état de graphite mélangé, ou combiné ou dissous, amorphe ou cristallin (M. Jullien), ou à l'état de polycarbure dissous (M. Karsten).

2° Suivant M. Frémy, *de fer, de carbone et d'azote*, l'azote jouant *un rôle important*, puisque M. Frémy a constaté sa présence dans *les aciers fondus des Huntsmann, de Krupp et de Jackson.* Si l'on admet cela, et la négation nous paraît impossible, à moins d'être appuyée d'expériences précises et infirmatives; cela admis, disons-nous, il reste à expliquer ce fait remarquable de la présence de l'azote dans *des aciers fondus*, c'est-à-dire en combinaison éminemment stable? Comment et sous quelle forme cette combinaison a-t-elle eu lieu? Préexistait-elle dans le fer, la fonte ou même les minerais? Doit-elle précéder; suivre ou être simultanée à celle du carbone?

Enfin, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, cet élément nouveau, c'est-à-dire inaperçu jusqu'alors, va-t-il modifier avantageusement nos procédés de fabrication lorsqu'on aura appris l'emploi de ce gaz *dit à qualité négative*, et qui cependant se retrouve combiné dans un si grand nombre de

corps naturels? Ne peut-on se demander s'il n'intervient pas dans le procédé Bessemer en raison de la haute température développée?

Telles sont les questions qui se présentent en foule à l'esprit et auxquelles des expériences seules pourront répondre.

Nous terminerons en examinant rapidement les objections faites à M. Frémy. On a dit :

« En prenant du graphite (carbone pur), on fait de l'acier sans azote.

« Clouet a fait de l'acier avec du fer pur et un diamant.

« Si l'azote reste en combinaison, faites des analyses quantitatives. »

Sans rien préjuger et tout en réservant comme indispensable un contrôle qui doit être sévère en raison de l'importance du fait annoncé, nous avouons ne pas comprendre l'esprit dans lequel sont faites ces objections.

A l'expérience d'aciération avec le graphite et à celle de Clouet, on peut répondre en se demandant quel était le fer employé?

A la demande de dosage quantitatif on peut répondre : donnez-nous le temps, mais tenez compte des difficultés. Quoi, jusqu'à présent l'azote était resté inaperçu, on avait constaté que dans certaines conditions il formait avec le fer une combinaison dans laquelle il entrait dans une proportion de 9 à 11 p. 0/0 ! Aujourd'hui, M. Frémy vous annonce que cette combinaison reste en proportion quelconque *dans les aciers fondus du commerce*, en proportion infinitésimale si vous le voulez ; mais si vous admettez que de semblables proportions de soufre, de phosphore ou de silicium, etc., peuvent avoir une influence mauvaise, considérable dans les aciers, pourquoi *à priori*, et sans contre épreuve, déclarer que l'azote ne puisse jouer un rôle utile inverse ?

M. Caron nie la présence de l'azote, en affirmant que les cyanures volatils à une haute température sont les véhicules du carbone par voie de double décomposition.

Nous connaissons tous depuis bien longtemps les propriétés des cyanures qu'on emploie journellement dans nos ateliers, mais l'objection ne répond pas à la présence de l'azote dans les aciers.

L'emploi des produits ammoniacaux et des cyanures devra, dans les tentatives d'aciération, être fait dans des conditions que nous avons déjà signalées, c'est-à-dire en ne les faisant agir que lorsque le fer à aciérer est arrivé à température convenable.

Nous ne terminerons pas sans appeler votre attention sur les progrès très-remarquables accomplis depuis quelques années dans le puddlage des fontes aciéreuses.

Il y a à peine quelques années que nous avons commencé et déjà nous n'avons plus rien à envier sous ce rapport à l'Allemagne et encore moins à l'Angleterre.

Le succès de ce puddlage, soumis encore à la réussite de certains tours de main, nous fait croire qu'il reste beaucoup à faire dans l'utilisation des gaz comme agents de combinaison aussi bien que de réduction, et que les essais provoqués par la découverte de M. Frémy aideront puissamment à nos progrès.

MM. Delonchant, Doyère, Foucou, Gaget, Langlois (Auguste) et Perret, ont été reçus membres de la Société.

SÉANCE DU 17 MAI 1861

Présidence de M. Eugène Flachat

M. Laurens écrit qu'il ne pourra assister à la séance.

A propos de la mise à l'ordre du jour du régulateur de M. Farcot, il émet l'opinion que lorsque des appareils ont été présentés à d'autres Sociétés et y ont été l'objet d'un rapport, le rapport seul soit mis en discussion.

Cette opinion est successivement appuyée et combattue par plusieurs membres; on pense que la plus grande liberté doit être laissée à cet égard, et que, dans tous les cas, la proposition de M. Laurens ne peut s'appliquer à l'appareil dont il s'agit qui a été soumis à la Société le jour même de sa présentation à la Société d'encouragement.

Du consentement de M. Farcot, la discussion est remise à la prochaine réunion.

Les nouvelles machines locomotives de M. Beugniot construites par M. André Kœchlin et C^ie^, pour servir à l'exploitation des chemins de fer dans les pays de montagne, ont été, ensuite, l'objet d'une discussion dans laquelle le regret de l'absence de leur auteur a été plusieurs fois témoigné.

M. Nozo partage l'opinion qui a été émise par M. Flachat, dans la précédente séance, et reproduite dans le compte-rendu, qu'il n'y a aucune relation entre la puissance d'une machine et les dispositions prises pour assurer son facile passage dans les courbes, et sa stabilité.

Il pense : qu'inférieure à la machine Engerth du Nord, sur toutes les dimensions qui constituent la puissance, ce n'est qu'au moyen d'un service forcé et d'une consommation exagérée de combustible, qu'on en a tiré un travail supérieur à celle-ci; et il émet le désir qu'une de ces machines soit amenée à Paris, pour que l'expérience prononce sur ce point.

M. Goschler demande comment l'accouplement peut fonctionner dans les courbes dans de bonnes conditions, puisque les bielles deviennent alors les hypothénuses de triangles rectangles, tandis qu'elles en forment l'un des côtés, lorsque la machine est en ligne droite.

M. Dubied fait remarquer que, par suite de la limite posée au jeu des

essieux, l'arc décrit par les bielles n'en exige l'allongement que d'une fraction de millimètre, qui est compensée par le jeu habituel.

MM. Nozo et LARPENT pensent que le simple jeu laissé aux boîtes à graisse dans le châssis fixe suffirait pour atteindre le but, et que les châssis mobiles, ainsi que les doubles boîtes à graisse, sont inutiles. Ils s'appuient sur le jeu laissé aux roues d'avant dans les machines Crampton, et aux roues d'arrière dans les premières machines Buddicom.

Au besoin, la disposition des ressorts proposés par M. Caillet pour limiter ce jeu résoudrait la difficulté. Il n'est, en outre, pas utile d'employer quatre boîtes à graisse par essieu pour diminuer la pression par cent. quarré sur les fusées ou les tourillons; il suffit d'allonger les deux boîtes.

M. Nozo conclut que la disposition de M. Beugniot fait peser à ses machines 282 kilog. par mètre quarré de surface de chauffe, au lieu de 185 kil., et que cela seul suffit pour en interdire l'usage ailleurs que sur des lignes à courbes d'un très-faible rayon.

Des doutes sont exprimés par MM. Forquenot et Flachat, sur celle des opinions précédentes qui a trait au jeu à laisser dans les boîtes à graisse. On l'empêche habituellement de s'étendre à toutes les faces des essieux : on en laisse avec intention à un des essieux d'une machine, mais non à tous; on le redoute particulièrement dans les essieux moteurs. Soit que les perturbations naissent du travail moteur ou des inégalités de la voie, l'instabilité des machines dont les essieux ont beaucoup de jeu sur les tourillons ou les fusées prend une telle intensité qu'elle devient une cause fréquente de rentrée dans les ateliers, pour réparations; enfin, on oublie que la disposition de M. Beugniot réduit ce jeu des essieux de moitié en le partageant. La disposition adoptée par M. Beugniot est donc, de tous points préférable, pour le passage dans les courbes de très-faible rayon, à celle qui consisterait à laisser du jeu à tous les essieux, parce qu'elle conserve à la machine sa stabilité et parce qu'elle permet d'étendre sans inconvénient à quatre essieux l'accouplement qui serait impraticable si les quatre essieux étaient isolés et libres.

M. Nozo émet le doute que l'accouplement tel qu'il est exécuté dans les machines puisse s'étendre, comme on l'a dit, à un plus grand nombre d'essieux. On répond qu'il n'y a à cela d'autre difficulté que celle de l'égalité du diamètre qu'il importe, en première ligne, de conserver. Mais que la direction toujours parallèle des bielles de chaque essieu dans les courbes ne semble pas être une cause sensible de perte de travail. Sous les deux rapports, la nouvelle machine élargit d'une manière intéressante le cercle des applications de la locomotive; la seule objection sérieuse qu'elle semble soulever est dans son poids.

M. LE PRÉSIDENT appelle l'attention de la Société sur le dernier rapport de M. le Préfet sur la distribution des eaux dans Paris.

Il fait remarquer que les conclusions de ce rapport satisfont aux deux opinions qui ont été émises par plusieurs membres de la Société, celle de dériver les eaux pures et potables provenant immédiatement des sources et

qui, amenées par des canaux souterrains, conserveront leur pureté et leur fraîcheur; et celle d'élever, mais pour les besoins de l'arrosage, de l'industrie et de l'assainissement, les eaux de Seine.

Revenant sur les opinions émises à cette époque, il exprime le regret que dans ces discussions, la comparaison des deux systèmes de dérivation, ou d'élévation par machine n'ait pas été plus complétement dégagée de celle des eaux à choisir. Ceux qui considéraient l'élévation par machines comme le moyen le plus économique de procurer l'eau à la ville ont manifesté leur préférence pour l'eau de Seine. Les autres, repoussant l'usage de l'eau de Seine et considérant que le choix de l'eau dominait la question, ont accepté comme conséquence le système de dérivation. Bien que cette dernière opinion lui soit personnelle, il regrette que les débats n'aient pas été plus étendus sur les dépenses comparatives d'élévation et de dérivation des eaux.

Quelque utilité qu'aient pu avoir les discussions qui ont eu lieu alors, et M. le président témoigne l'espoir qu'elles ont été utiles, la question que soulève le système mixte adopté par M. le Préfet reste entière. Elle est de savoir s'il est plus économique d'élever les eaux de la Seine prises à Paris, que de dériver d'autres eaux prises à de grandes distances, et s'il est prudent de choisir, même pour les besoins d'édilité autres que l'alimentation, c'est-à-dire pour être répandues gratuitement sur la voie publique, et par conséquent pour l'usage des classes pauvres, des eaux souvent malsaines, troubles, etc.

M. Roy fait remarquer que les membres qui ont proposé des machines élévatoires restaient dans le programme fixé par M. le Préfet lui-même qui déclarait les eaux de Seine excellentes si elles n'eussent été troubles et chaudes; or, un simple filtrage suffirait pour rendre les eaux claires; quant à les rendre fraîches, M. Roy pense que le passage dans les conduites de distribution qui sont enterrées profondément enlèverait aux eaux l'excès de température qu'on leur reproche.

Un membre rappelle que des incertitudes fondées ont été émises sur la possibilité du filtrage et la possibilité de rendre à l'eau de Seine sa fraîcheur par le passage dans les conduites.

M. Faure ajoute à ce qui vient d'être dit par M. Roy, que les analyses chimiques présentées à l'appui de l'opinion émise dans les rapports officiels n'ont pas entre elles la concordance qu'elles devraient avoir, et que si on rapproche ces différentes analyses les unes des autres, en dehors de considérations qui en sont tout à fait indépendantes, on s'explique mal la nécessité d'avoir recours aux moyens proposés par l'administration.

On fait observer qu'en résumé les membres qui ont cru devoir, dans la première discussion, exclure d'une manière absolue de l'alimentation et de l'édilité parisienne l'eau de Seine, et qui ont préféré qu'on amenât par de longues dérivations souterraines les eaux pures et fraîches des sources, se trompent aujourd'hui comme alors sur la qualité des eaux de Seine.

SÉANCE DU 7 JUIN 1861

Présidence de M. Eugène FLACHAT

M. LAURENS fait une observation relativement au procès-verbal de la séance du 17 mai. « Ma lettre à M. le président, dit-il, posait au sujet de la communication demandée par M. Farcot sur son régulateur une question de principe, qui fut discutée et que ne mentionne pas cependant le procès-verbal. C'était celle-ci; peut-on lire à notre Société un mémoire ayant été l'objet d'un rapport dans une autre Société? Puis j'ajoutais : *en fait* ce serait le rapport lui-même que l'on mettrait en discussion. Dans la circonstance, le rapport du Conservatoire sur le régulateur de M. Farcot donnant largement matière à réfutation, veut-on le mettre en discussion, en acceptant la communication précitée? »

Il n'est pas inutile de rappeler, ajoute M. Laurens, comment s'est ouvert inopinément le présent débat. Un membre, dont la bienveillance dans les intentions est toujours incontestable, mit sur le bureau, le 3 mai, le rapport du sous-directeur du Conservatoire, en appelant l'attention sur son objet.

Un rapport, d'où l'on peut conclure que le modérateur à force centrifuge est la solution des solutions de la régulation dans les machines à vapeur — qui recommande vivement à l'industrie cet appareil, que des complications, ingénieuses certainement, ont perfectionné — qui en signale l'application aux forges, application qui est au point de vue métallurgique une erreur funeste, — ne pouvait être mentionné, devant une réunion d'ingénieurs, sans soulever une protestation. C'est ce que j'ai fait par l'observation que j'ai émise sur le moment même, observation dont je viens de résumer la substance, et que je maintiens.

M. TRESCA remercie M. Laurens de la rectification qu'il vient de demander quant au procès-verbal de la dernière séance, en déclarant qu'il n'a jamais eu la pensée de mettre en discussion le rapport présenté à la Société d'encouragement sur le régulateur de M. Farcot.

Il a relu ce rapport, et l'ayant trouvé de tous points conforme aux détails dans lesquels est entré M. Faure, il s'était ému de ce que la Société ou quelques-uns de ses membres eussent eu la pensée de discuter un rapport qui n'a pas jusqu'ici été soumis à l'appréciation de la Société des ingénieurs civils, alors que cette discussion se serait faite plus convenablement sur les observations verbales de notre collègue M. Faure. La rectification spontanément demandée par M. Laurens le dispense de présenter les obser-

vations qu'il croyait avoir à faire contre cette marche au moins singulière. Il a d'ailleurs relu ce travail à la suite du procès-verbal de la dernière séance, et, sans le croire digne d'être soumis à la Société, il a tenu à se mettre complétement à sa disposition pour le discuter avec elle, pensant qu'il faisait à la fois acte de bon camarade et de déférence, en évitant à la Société, dans le cas où elle aurait admis la doctrine du procès-verbal, le peu de convenance peut-être qu'il y aurait eu à discuter, en l'absence de l'auteur, un document dont il croit pouvoir accepter la complète responsabilité.

M. Farcot explique la disposition et le jeu de son régulateur, indiquant la théorie et les tracés qui servent à le déterminer.

L'une des figures présentées est une épure donnant, pour toutes les positions des boules, une longueur de pendule constante projetée sur l'axe vertical de rotation, et une courbe d'après laquelle la position des boules serait rigoureusement indifférente pour une vitesse normale donnée, si les bras du régulateur étaient flexibles et se développaient suivant une courbe génératrice supérieure, dont la courbe inférieure est la développante.

Ce résultat théorique est obtenu plus simplement en pratique au moyen de deux centres d'articulation des bras ; mais l'équilibre théorique n'existant plus par suite de la présence de rayons vecteurs et de centres constants, la longueur de pendule ne restant plus exactement la même dans toutes les positions des boules, M. Farcot corrige cette cause de perturbation de l'équilibre, au moyen d'un contrepoids inférieur, à levier variable, agissant dans un rapport constant sur le manchon des boules, au moyen de bielles croisées comme les bras ; c'est seulement au moyen de ces bielles croisées dans de certaines proportions que le rapport de l'effort des boules à la résistance reste constant, et que l'équilibre théorique et pratique est obtenu.

Les bras et bielles, ayant nécessairement une certaine masse, produisent une action centrifuge variable dans leurs diverses positions; et le maximum de la somme des forces centrifuges pour une même vitesse angulaire correspond à la position supérieure des boules. M. Farcot compense cette action et la régularise au moyen d'un ressort ordinaire à boudin, dont la tension croît à mesure que les boules s'élèvent.

Le régulateur ainsi constitué est complétement équilibré et peut passer instantanément, et pour la plus faible variation de vitesse, d'une extrémité à l'autre de sa course, toutes les positions lui étant théoriquement et pratiquement indifférentes, quand la vitesse est normale ; tandis qu'un modérateur à boules ordinaire doit s'accélérer de plus en plus pour s'enlever vers ses positions supérieures.

L'étendue d'action du régulateur de M. Farcot lui permet de faire varier instantanément la puissance de la machine du minimum au maximum, c'est-à-dire de l'admission o à l'admission complète à pleine pression pendant toute la course du piston ; c'est seulement dans ces conditions exceptionnelles qu'un régulateur peut gouverner efficacement des machines de laminoir ou d'usines à travail très-varié.

Ce régulateur diffère des régulateurs paraboliques ou à deux centres

1° Par les principes mêmes de la détermination des centres ;

2° Par les bielles croisées qui permettent de transmettre et de recevoir une action dans un rapport constant ;

3° Par le levier à contrepoids mobile et à développante, qui rectifie l'action des centres et des rayons vecteurs, et permet, de plus, de régler exactement le nombre de tours ;

4° Par l'addition du ressort compensateur des forces centrifuges.

Ces diverses parties du régulateur sont nécessaires pour réaliser l'équilibre constant, théorique et pratique dans toutes les positions angulaires des boules, et constituent néanmoins un système simple sans dérangement possible, car il n'est composé que de tiges articulées dont la longueur est invariable.

Ce régulateur est appliqué à plus de soixante-dix machines dont plusieurs fonctionnent depuis quatre ans, sans qu'aucune retouche ou réparation soit nécessaire.

L'application de ce système au travail des forges a réalisé, comme dans diverses autres usines, par la suppression des ralentissements, et d'après la déclaration des manufacturiers eux-mêmes :

1° Amélioration de la qualité des produits ;

2° Augmentation de quantité ;

3° Diminution proportionnelle du prix de revient.

M. Laurens rappelle que l'observation par lui faite, lors de la communication du rapport concernant ce régulateur, reposait sur ce que le pendule conique était, en lui-même, un organe imparfait. Agissant, en effet, par la force centrifuge de masses mises en mouvement, on y voit le mal, qu'il faudrait prévenir, se produire nécessairement, avec une certaine intensité, avant que le remède soit en mesure d'être efficace. De plus, la répartition de la masse de l'appareil, son action variable lors des variations de position, sont des causes d'irrégularité qui appellent de nombreux correctifs. Aussi arrive-t-il avec cet appareil que, plus la correction de ses vices organique s'approche d'être complète, plus la complication de l'organe est grande. En le perfectionnant, on se livre donc à un genre de perfectibilité qui emporte avec lui une assez grande imperfection. Car, on sait, que dans tout mécanisme la complication rend difficile d'en tenir la fonction bien réglée, bien en état d'être constamment utile.

Le *desideratum* de l'industrie, en fait de régulation des machines à vapeur, ne me semble pas devoir être accompli par un régulateur à force centrifuge. C'est le régulateur chronométrique qui promet la solution désirée ; c'est dans cette voie, peu frayée jusqu'à ce jour, qu'il y a à chercher. Déjà on a vu fonctionner avec succès un régulateur de ce genre, imaginé et appliqué par M. Cast, ancien élève de l'École Centrale, l'un de nos habiles filateurs d'Alsace. Mais les soins que cet appareil, vraiment ingénieux, exigeait à l'usage journalier l'ont fait abandonner.

Comme régulateur non indépendant, celui qui fonctionne, par simple étranglement, à l'aide du vide partiel qu'effectue une pompe pneumatique,

répond le mieux jusqu'ici aux besoins réels de l'industrie. L'instantanéité de son action, sa promptitude d'action qui se fait sentir à chaque coup de piston, donnent à cet appareil, dû à M. Larivière, un avantage pratique certain sur le pendule conique, même sur le pendule parabolique. Quant à ce dernier, la conséquence de la complication que nécessitait le perfectionnement, connu depuis longtemps déjà, du mouvement parabolique, fut d'empêcher son adoption.

Je terminerai ces considérations générales, que la suite de la discussion pourra m'amener à développer, par une remarque générale aussi sur les applications du régulateur. Il s'en faut de beaucoup que l'utilité de cet organe soit égale dans toutes les industries. On ne saurait prétendre leur rendre, à toutes, *un véritable service* en leur donnant un régulateur plus ou moins parfait. Il est même des circonstances où son emploi serait plus nuisible qu'avantageux.

Le rapport signale le régulateur de M. Farcot comme ayant produit des résultats fort importants dans les forges à laminoir. M. Farcot dit même qu'il procure un abaissement du prix du fer. Il est triste de penser que des prétentions aussi peu fondées ont pu servir à grossir le volume des dires et renseignement non justifiés, qui ont pesé sur les déterminations dont nos forges souffrent si cruellement aujourd'hui.

Rendre constante la vitesse d'une forge à laminoirs est une opération entièrement contraire à la bonne fabrication. Loin d'être une cause d'abaissement du prix du fer, elle en amènerait plutôt l'accroissement, puisque le résultat immédiat serait d'avoir besoin d'un moteur de la force de 300 chevaux, là où 140 chevaux auraient suffi. Ceci n'est point une hypothèse, c'est un fait qui se réalise dans la même contrée, dans deux usines composées des mêmes trains, l'un à la vapeur avec régulateur, l'autre à moteur hydraulique. Dans une forge où la fabrication est bien entendue et bien suivie, on possède le moyen de faire varier la vitesse suivant les échantillons, et suivant le travail. Cette faculté, que donne dans toute sa plénitude le système des trains à moteur direct, a produit un des plus importants progrès que nos forges aient réalisé depuis 20 ans; c'est celui de l'accélération de vitesse des trains, vitesse qui est bien supérieure à ce qui se pratiquait auparavant. C'est là qu'il y a eu réellement économie et abaissement du prix de revient. Le régulateur dans une forge n'est pas un accessoire superflu; mais il ne doit servir qu'à empêcher les machines de dépasser la vitesse fixée comme maximum : il n'y a nullement à craindre de voir les machines se lancer et occasionner des ruptures. Les maîtres de forges agiraient donc à l'inverse du progrès, en se mettant au régime de la régularité quasi-mathématique, qu'on leur préconise. Au surplus, cette faculté de faire varier à volonté la vitesse dans une forge est si nécessaire, que les ouvriers ont bien su trouver, à l'insu probablement du patron, là où il y a un régulateur Farcot, le moyen de paralyser son action, quand il faut absolument laisser la machine s'accélérer, ou bien lorsqu'il faut la ralentir.

M. Farcot a essayé les régulateurs chronométriques, et il a eu l'occasion

d'en installer. Mais ces régulateurs ne sont pas d'une sensibilité assez prompte, il leur faut un certain temps pour agir, dans les usines à travail irrégulier.

En ce qui concerne les régulateurs à air, ils agissent sur un papillon, ils sont réglés pour admettre, au plus, une certaine quantité de vapeur; et, lorsque les machines sont à détente, ils ne permettent de faire varier le travail que dans des limites très-restreintes.

Or, dans la plupart des forges, les machines motrices sont trop faibles et, se ralentissant pendant le laminage, laissent le fer se refroidir et altèrent sa qualité : le prix de revient se trouve aussi augmenté par ces ralentissements que l'on évite avec des machines puissantes, économiques de vapeur en raison de leur travail à grande détente, et munies de régulateurs à action énergique et instantanée.

M. LE PRÉSIDENT exprime le désir que la discussion prenne, autant que possible, une direction moins spéciale que celle de l'application dont il s'agit ici, de l'appareil de M. Farcot à une forge. La question de savoir s'il convient de régulariser l'allure des machines de forge a été posée par M. Laurens et mériterait sans doute l'examen; et peut-être la solution serait-elle différente suivant que la machine mènerait un ou plusieurs appareils, et travaillerait d'une manière continue ou interrompue. Il est bien connu que, dans les forges, un certain nombre de machines très-puissantes sont conduites à la main, tandis que d'autres sont munies de régulateurs. Mais, là n'est pas le débat à l'ordre du jour; ce sont plutôt les conditions que doivent accomplir les régulateurs pour être efficaces, et si l'appareil dont il s'agit les remplit.

Il est basé sur la force centrifuge, et comme tous les régulateurs de ce genre destinés à ôter ou à demander au moteur la force nécessaire pour empêcher l'accroissement du moment d'inertie du volant ou le rétablir, il s'agit de savoir si c'est bien la force centrifuge qu'il convient d'employer à régulariser l'allure du volant, ou s'il y a lieu de préférer un autre agent tel que l'air, l'eau, un mouvement d'horlogerie, etc. M. Farcot préfère l'emploi de la force centrifuge; c'est là une question de système et non d'appareil.

La seconde question est celle de l'appareil. L'emploi de la force centrifuge a été toujours gêné par la difficulté de donner aux régulateurs à boules une figure géométrique qui permît de rendre leur moment d'inertie dynamique constamment proportionnel à celui du volant. La figure du volant ne change pas dans le mouvement, la distance du poids de sa couronne au centre de rotation est toujours la même, quelle que soit la vitesse. Elle change, au contraire, dans le régulateur ordinaire; et comme tout accroissement de distance agit au carré, le degré de sensibilité de ces appareils s'accroît et rend leur emploi plus difficile.

MM. Meyer et Charbonnier avaient résolu cette difficulté au moyen d'un levier compensateur dont les courbes étaient tracées de telle sorte, que l'action résultant de l'accroissement du moment d'inertie du régulateur était certainement égale à quelque distance que fussent les boules de l'axe

de rotation. L'un de ces régulateurs, si utiles dans les filatures où la marche régulière du métier a une si grande influence sur le produit, régulait même l'horloge de la manufacture. M. Farcot croit avoir mieux résolu le même problème par une figure géométrique donnée à son régulateur à boules. C'est là le second point à discuter.

Enfin, la troisième question lui paraît être motivée par la préférence à donner aux régulateurs susceptibles de mener des cames ou des coins de détente de vapeur sur ceux qui ne sont susceptibles que de mener des papillons, dont la propriété est, on le sait, de faire perdre à la vapeur à la fois ces trois propriétés solidaires, vitesse d'écoulement, température et pression, et par conséquent de nuire à son utilisation. M. Farcot présente son appareil comme ayant à cet égard la supériorité.

M. Faure dit qu'il a examiné le régulateur Farcot, et à son avis c'est un des meilleurs qui existent. D'après les expériences faites il a une régularité presque mathématique.

M. Farcot reconnaît qu'avec son régulateur et des machines puissantes le travail en chevaux-vapeur ou en kilogrammètres est plus considérable qu'avec des moteurs hydrauliques de même force nominale, et même que celui qu'on obtiendrait en *lançant des machines* plus faibles pour leur faire faire pendant quelques instants un travail supérieur au travail normal; mais il fait observer que la quantité des produits fabriqués est proportionnelle à la puissance dépensée; que le même travail demande évidemment moins de vapeur avec de grandes machines à détente, qu'avec d'autres plus petites fonctionnant presque sans détente beaucoup au-dessus de leur force nominale, et que l'économie de vapeur est une condition essentielle pour les forges, surtout depuis l'emploi des pilons; que bien souvent l'on manque de vapeur, et que c'est une situation des plus onéreuses pour la fabrication.

L'emploi de bons régulateurs économise la vapeur. C'est un fait d'expérience, le machiniste ne peut conduire une machine aussi économiquement qu'un régulateur, et l'addition de cet appareil a souvent produit un excès de vapeur et de pression dans la chaudière, là où on ne pouvait se tenir en vapeur.

On obtient en une seule chaude ce qu'on obtenait en plusieurs, par suite du non-ralentissement dans la vitesse des cylindres : la température du métal ne s'abaissant plus autant pendant la passe, tout le travail du laminage se fait au rouge blanc, ce qui donne à la fois une économie de combustible et un métal plus parfait.

Cela n'empêche pas de varier la vitesse normale du régulateur et de la machine dans certains cas, suivant les besoins exceptionnels de la fabrication, par un changement de poulies ou d'engrenages, ou seulement en variant la position du contrepoids du régulateur.

M. Thomas regrette que, dans la discussion, on ne s'appuie que sur des faits particuliers, au lieu de s'appuyer sur la théorie, ou sur des faits reconnus vrais par tout le monde; car à tous les faits particuliers, il est toujours possible d'opposer d'autres observations, qui détruiront les consé-

signe qu'on cherche à tirer des premiers. Selon lui, l'usage d'un régulateur dans les forges est plus nuisible qu'utile ; presque partout on a démonté les régulateurs des machines conduisant les laminoirs, ou, quand on les a conservés, on a eu soin de les disposer de façon à ce qu'ils n'agissent plus que pour empêcher la vitesse d'atteindre la limite dangereuse.

En principe, tout régulateur à force centrifuge, lié au mouvement de rotation du volant d'une machine à vapeur, se trouve soumis nécessairement aux variations de vitesse du volant lui-même ; variations qui se font sentir à chaque demi-tour, et qui, pour les meilleures machines de filatures, sont de 1/30e à 1/40e de la vitesse moyenne. Ce genre de régulateur ne peut donc théoriquement régler la vitesse moyenne, ou le nombre de tours, d'une quantité plus rapprochée, c'est-à-dire à plus de 1/30e ou 1/40e ; soit environ 2 1/2 à 3 p. 0/0 ; et, en réalité, comme ses oscillations, résultant de la variation de vitesse par coup, coïncident souvent avec celles résultant d'un changement dans le travail ou la pression, il doit nécessairement arriver que les deux causes de variations s'ajoutent par moment ; par conséquent, il paraît difficile qu'il puisse régulariser le nombre de tours à plus de 1/15e ou 1/20e.

C'est là un vice radical de tous les régulateurs à force centrifuge, lesquels doivent d'autant moins bien régler réellement les machines à vapeur, qu'ils sont plus sensibles, comme celui de M. Farcot, puisqu'ils obéissent plus vite à la variation de 1/30e dans la vitesse moyenne, qui se fait sentir à chaque coup. On ne comprend donc pas comment on peut voir, en pareil cas, que *le problème de la régularisation est résolu de la manière la plus satisfaisante*.

Il faut, théoriquement, pour qu'un régulateur soit bon, que son action ne dépende que de la durée moyenne d'un demi-tour : le problème est donc bien plus près d'être résolu par M. Larivière, dont le régulateur est aujourd'hui fort répandu dans la pratique.

M. Tresca ajoute que d'après ce qu'il vient d'exposer il croit que la vitesse d'une *régularité presque mathematique*, que M. Faure dit avoir observée sur une machine de M. Farcot, était une vitesse régulière à 1/80e près, ou seulement à 1/15e, à moins que la machine ne fût munie d'un volant exceptionnellement puissant, bien plus puissant que ceux généralement admis dans les filatures.

M. Tresca tient à dire, sans vouloir quant à présent examiner si les régulateurs sont d'un bon emploi général dans les forges, qu'il a eu occasion de voir à Saint-Dizier deux régulateurs à bras et bielles croisés, sur lesquels les maîtres de forges ont exprimé l'opinion la plus favorable, et qu'ils considèrent, pour leurs usines, comme une réelle amélioration.

Il ne cherchera pas à établir un parallèle entre ces appareils et d'autres appareils analogues : ce serait appeler le débat sur un terrain trop personnel ; mais il peut affirmer à la Société que dans les expériences qu'il a faites avec le Comité des arts mécaniques et la Société d'encouragement, dans les ateliers de Mme Erard, la régularité obtenue était de tous points satisfaisante.

Le procédé qu'il a employé dans cette constatation ne peut laisser aucun doute dans l'esprit des membres de la Société.

Si une machine à vapeur faisant un tour en six cinquièmes de seconde était disposée de manière que la bielle, à l'extrémité de sa course, fît fonctionner le pointage d'un compteur chronométrique, disposé à cet effet, en battant, comme les montres ordinaires, le cinquième de seconde, les points marqués sur le cadran seraient régulièrement distants les uns des autres de six cinquièmes de division; mais si la durée de la révolution de la machine était un peu plus grande, il arriverait que, par l'accumulation des différences, la distance serait de temps en temps, et à intervalles réguliers, de sept cinquièmes; c'est ce qui a été observé dans l'expérience dont il s'agit, encore bien que le pointage se soit continué depuis le moment où la machine faisait régulièrement 20 chevaux, jusqu'à celui où sa puissance était depuis 10 ou 12 tours réduite à 3. Les irrégularités périodiques, tout à fait semblables dans les deux cas, viennent encore ajouter à l'exactitude de l'observation.

Il est donc établi, et l'expérience peut se répéter demain, que dans ces circonstances le régulateur de M. Farcot a déterminé une égalité parfaite entre les durées des différents tours de la machine, malgré les différences considérables de puissance auxquelles donnait lieu la *mise bas* des courroies de transmission aux machines-outils.

Sans doute ce régulateur ne peut assurer la régularité du mouvement pendant la durée de chaque tour : c'est là l'objet du volant, et M. Tresca demande la permission d'indiquer comment il s'est assuré, précisément sur une machine de M. Farcot, jusqu'à quelle limite d'exactitude le volant peut remplir cet office. Il lui a suffi pour cela de placer un style sur l'arbre même de la machine, et de faire marquer par ce style, sur le plateau mobile de l'appareil proposé par M. le général Poncelet pour l'observation des lois du mouvement, une courbe représentant en coordonnées polaires les relations entre les déplacements de l'arbre et les déplacements simultanés du plateau. Cette courbe, transformée en coordonnées rectangulaires, a donné lieu à une ligne droite qui passe par l'origine des coordonnées et qui démontre la parfaite proportionnalité entre les deux mouvements. Ils sont donc parfaitement conformes à moins d'être variés, quoique absolument indépendants, suivant une même loi, ce qui ne pourrait s'expliquer en aucune façon.

De ce qui précède il résulte, suivant M. Tresca, qu'un bon volant régularise effectivement le mouvement de rotation de la machine pendant la durée d'un tour, et que le régulateur de M. Farcot, lorsqu'il est bien disposé et bien entretenu, suffit à donner à chacun des tours la même durée.

Au point de vue technique, qui intéresse surtout la Société, ces faits ne laissent pas que de présenter, en dehors de toute question de compétition, un grand intérêt.

M. Thomas aurait désiré que M. Tresca continuât la discussion. par des fait généraux et des idées théoriques, au lieu d'opposer à son opinion deux expériences, et encore deux expériences opérées sur des machines livrées

par M. Farcot, l'auteur du régulateur présenté. Si ces expériences paraissent donner une régularité plus grande que celle qu'il est possible d'atteindre d'après la théorie exposée, dit M. Thomas, cela peut tenir, soit au hasard, soit à ce que ces machines sont munies de volants plus puissants que ceux ordinairement admis par les meilleurs constructeurs de machines de filatures, volants qui occasionneraient alors par leur excès de puissance une perte notable de travail, en frottement.

Quant aux certificats invoqués par M. Tresca, en faveur du régulateur de M. Farcot et obtenus par celui-ci, il serait facile de leur opposer les faits observés par nombre de maîtres de forges, qui donneraient, au besoin, des certificats bien différents sur les résultats des régulateurs de divers genres essayés dans leurs usines, toutes les fois que les régulateurs ont fait autre chose que d'empêcher les machines de s'emporter.

La permanence de la vitesse des laminoirs, maintenue par un régulateur plus ou moins perfectionné, est contraire aussi bien à la pratique qu'à la théorie du travail du fer.

M. Farcot dit qu'il ne comprend pas que l'on puisse contester des faits aussi bien établis que ceux que cite M. Tresca, il ne considère pas cette limite de 1/30 comme absolue, beaucoup de machines sont régularisées à 1/35 et même 1/40 ou 1/50 par le volant, sans que le poids de cette partie de la machine soit exagéré.

Dans ces conditions, les boules n'agissent pas brusquement à chaque tour, comme M. Thomas le prétend; cette oscillation périodique existe au contraire dans le régulateur Larivière, et c'est sans doute pour cela que son auteur l'appelle régulateur à détente? Mais, cet appareil qui est bon pour des machines sans détente, par cette raison même, ne doit pas être appliqué aux machines à détente; car, indépendamment de l'effet nuisible que produit toujours sur la vapeur l'étranglement d'une valve, l'oscillation qui effectue cette espèce de détente ne peut se combiner que d'une manière très-fâcheuse avec la détente normale de la machine.

M. Thomas dit que le régulateur Larivière s'applique très-bien aux machines à détente; il appelle de nouveau l'attention sur les inconvénients de tous les régulateurs à force centrifuge; lesquels, participant à l'irrégularité par tour, peuvent d'autant moins bien régulariser le nombre de tours, qu'ils sont plus sensibles; et, d'un autre côté, s'ils n'étaient pas influencés par l'irrégularité par tour, ils seraient trop lents, trop peu sensibles pour la régularité du nombre de tours.

M. Dubied craint que M. Thomas ne tienne pas compte, dans son appréciation, de la masse du régulateur qui empêche celui-ci d'agir immédiatement.

M. Farcot fait remarquer que l'on déplace la question, que le régulateur n'est pas destiné à régulariser la marche du piston pendant un tour ou un demi-tour, c'est l'affaire du volant; mais à neutraliser les irrégularités qui proviennent du travail résistant de l'usine et qui, dans beaucoup de cas, correspondent à une variation de 0 à 2 fois la puissance nominale de la machine et constituent, quoi qu'on en dise et comme les propriétaires

d'usines de ce genre le savent bien, un des problèmes les plus difficiles de la construction des machines. Quant à savoir si les forges ont besoin de régulateur, M. Farcot ne pense pas que cela puisse être mis en question dans l'opinion des maîtres de forges qui ont toujours cherché de bons régulateurs et supprimé ceux qui ne fonctionnent pas assez énergiquement; *c'est à eux d'examiner par eux-mêmes le travail dans les usines munies du nouveau régulateur, et de se rendre compte si son emploi est ou non une grande amélioration.*

Le régulateur Larivière subit bien plus que le pendule conique la variation qui peut exister pendant chaque tour par l'influence du volant; il n'a pas pour lui résister l'inertie des boules, qui dans le pendule conique neutralise complétement cette action périodique, comme M. Dubied vient de le faire observer bien judicieusement.

M. Thomas répond que ses observations s'appliquent à la régularité du nombre de tours.

M. Bournique dit que dans ses ateliers à bois, avec un pendule conique, il ne peut obtenir, lorsqu'il met en marche certains outils, la scie et la machine à rabotter, une régularité à plus de 5 tours près.

M. Thomas assure qu'on obtient généralement une régularité bien plus grande avec les régulateurs ordinaires, et que, s'il en est souvent autrement, c'est qu'ils sont mal installés ou mal réglés par les chauffeurs.

M. Goschler fait observer que dans le résumé de la Séance du 17 mai, page 112, il a demandé comment l'accouplement peut fonctionner dans les courbes dans de bonnes conditions, puisque les bielles deviennent alors les hypothénuses de triangles rectangles, tandis qu'elles en forment l'un des côtés lorsque la machine marche en ligne droite.

MM. Belpaire, Brialmont, Bonnet et Conrard ont été reçus membres de la Société.

SÉANCE DU 21 JUIN 1861

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

Présidence de M. Eugène Flachat

La lecture du procès-verbal donne lieu aux observations suivantes :

M. Tresca fait observer que les paroles de M. Laurens, à la suite desquelles il avait cru devoir lui adresser des remerciements, sont reproduites dans le procès-verbal d'une manière si différente de ce qui a été dit, que, loin d'en remercier M. Laurens, il aurait parlé dans un sens tout différent.

M. le Président répond que le procès-verbal lui a été communiqué;

qu'il a fait à cet égard la même remarque que M. Tresca, mais qu'il a cru devoir en rapprocher les termes de la lettre écrite par M. Laurens, et qu'il a maintenu la rédaction actuelle parce qu'elle exprime exactement la pensée de cette lettre; que, du reste, le désaccord sur la question technique qui existait entre M. Tresca et M. Thomas s'étant produit dans le cours de la discussion, l'opinion de chacun en est ressortie nettement.

La parole est donnée à M. Loustau, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

M. Loustau indique que le nombre des sociétaires, qui était, au 21 décembre 1860, de 519
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de . . 30
549
A déduire par suite du décès d'un sociétaire 1
Nombre total des sociétaires au 21 juin 1861. 548

Les versements effectués pendant le 1er semestre 1861, se sont élevés à :

1° Pour le service courant, cotisations, droit d'entrée, amendes, etc.	8,310 4	
2° Pour la constitution du fonds social inaliénable.	54,572 »	62,882 40
Il reste à recouvrer en cotisations, droit d'entrée, amendes	12,856 »	
Sur le fonds social.	4,764 »	17,620 »
Total de ce qui était dû à la Société.		80,502 40
Au 21 décembre 1860, le solde en caisse était de. .		4,295 15
Les versements effectués pendant le 1er semestre 1861 se sont élevés à.		62,882 40
		67,177 55

Les dépenses du 1er semestre sont :

1° Pour achat de 150 obligations. . . .	44,947 95	
2° Pour dépenses d'impression, appointemens, affranchissements, etc, etc.	8,459 90	53,407 85
Il reste en caisse à ce jour. . .		13,769 70
dont. . 4,145 65 pour le service courant.		
et. . . 9,624 05 pour le fonds social.		
Somme égale. 13,769 70		13,769 70

La Société a en outre en portefeuille 150 *obligations de chemins de fer.*

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes du trésorier, ces comptes sont approuvés.

M. le Président adresse au trésorier, au nom de la Société, des remerciements pour sa bonne et active gestion.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion des régulateurs de M. Farcot.

M. Farcot signale une phrase attribuée à M. Laurens dans le compte-rendu de la dernière séance, et qu'il n'avait pas entendu prononcer le 7 juin; il y est dit que la faculté de varier à volonté la vitesse dans une forge est si nécessaire que les ouvriers ont bien su trouver à l'insu probablement du patron, là où il y a un régulateur Farcot, le moyen de paralyser son action, quand il faut absolument laisser la machine s'accélérer ou bien quand il faut la ralentir.

M. Farcot demande dans quelle forge M. Laurens a constaté le fait qu'il énonce.

M. Laurens refusant de donner cette indication dans la séance, M. Farcot offre de lire des lettres des maîtres de forges chez qui ses régulateurs sont établis, qui prouvent le contraire de ce que M. Laurens a avancé et, de plus, *que, pour fabriquer les divers échantillons de fer, si l'on a besoin d'une vitesse plus ou moins grande, il suffit de varier la poulie du régulateur, le machiniste n'ayant plus à s'occuper de la vitesse qui, ainsi fixée pour chaque travail, est constamment maintenue pendant la durée de chaque fabrication.*

M. le Président propose que la discussion soit circonscrite dans la valeur théorique des moyens de régulariser la marche des machines. L'emploi de la force centrifuge doit être examiné en première ligne, puisque c'est sur le mérite d'un appareil à force centrifuge, que la discussion s'est établie, et en seconde ligne sur l'emploi d'intermédiaires, comme l'air, l'eau, ou les appareils chronométriques.

M. Thomas, dit M. le Président, n'attribue à l'emploi de la force centrifuge qu'une propriété très-limitée pour régulariser les machines, il préfère d'autres intermédiaires; il est invité à donner les raisons théoriques de sa préférence.

M. Tresca de son côté a établi, par des expériences dont l'exactitude semble incontestable, que l'appareil à force centrifuge régularise la marche des machines à un degré de précision supérieur à celle qui est réclamée en général par l'industrie. Il y a dans les deux opinions une différence, à la fois théorique et de fait, qui donne à cette discussion un grand intérêt.

M. Thomas expose que M. Gast est un des ingénieurs qui s'est le plus occupé de la régularisation des machines; ses travaux ont fait comprendre l'importance de cette régularisation, au point de vue commercial, aussi bien qu'au point de vue mécanique. On peut admettre, dit M. Thomas, que, dans les manufactures analogues aux filatures et dans nombre d'ateliers, où la somme de travail effectuée par les ouvriers dépend uniquement de la marche du moteur, la dépense de main-d'œuvre et une partie notable des frais généraux sont proportionnels à la durée du travail des ouvriers, durée que l'on peut représenter par une ligne droite; la quantité de produit manufac-

turé sera donc égale à ce temps multiplié par la vitesse moyenne du moteur; elle pourra par conséquent être représentée par une surface comprise entre la ligne droite indiquant la durée du travail, et la ligne qui réunit l'extrémité des ordonnées portées sur la première et représentant les vitesses moyennes.

Avec une roue hydraulique, si les travaux moteurs et résistants étaient rigoureusement égaux et constants, cette ligne des vitesses moyennes serait une droite, et la surface représentée un rectangle. Si, de plus, la même ligne des vitesses moyennes coïncidait avec la ligne que donnerait la vitesse maxima dont l'usine est susceptible, le produit manufacturé deviendrait alors le plus grand possible. Avec une machine à vapeur, dont la vitesse varie deux fois par tour de volant, la ligne qui réunit le sommet des ordonnées des vitesses sera ondulée et la vitesse moyenne restera au-dessous de celle qu'aurait donnée la vitesse maxima; le produit manufacturé se trouvera donc inférieur à son maximum.

En réalité les travaux moteurs et résistants sont loin d'être constants; et la ligne des vitesses moyennes se trouve abaissée au-dessous de celle de la vitesse maxima, de toute la hauteur représentant le plus fort accroissement de vitesse que ne pourra empêcher le régulateur; car si elle n'était pas autant abaissée, il en résulterait des accidents ou de mauvais produits pendant l'accélération. Ainsi la production manufacturée diminuera d'autant plus que cet accroissement ou cet écart de vitesse au-dessus de la vitesse moyenne deviendra plus considérable.

Cette considération, on pourrait dire ce principe, montre qu'il ne suffit pas qu'un régulateur ramène le moteur à la vitesse normale, au bout d'un temps plus ou moins long, ou plus au moins court; elle prouve qu'il est nécessaire qu'il réduise autant que possible l'étendue des écarts de vitesse, surtout celle des écarts en accélération.

M. Thomas estime, en se basant sur nombre d'observations, qu'avec les régulateurs à force centrifuge de diverses sortes, tels qu'ils étaient généralement installés et réglés, c'est-à-dire avec assez peu de soins, il y a une vingtaine d'années, la ligne des vitesses moyennes se trouvait généralement au-dessous, d'environ 15 0/0, de la ligne qu'aurait donnée la vitesse maxima; par conséquent, la quantité de produits fabriqués avec la même dépense en main-d'œuvre, et presque pour les mêmes frais généraux, n'était que les 0,85 de la quantité possible à obtenir avec un régulateur parfait qui aurait évité d'une manière absolue tout écart de vitesse.

M. Gast, au moyen de son régulateur chronométrique, était parvenu dans quelques manufactures à réduire à 7 ou 8 0/0 cette différence entre les produits réalisés et ceux qui seraient résultés d'une régularité absolue, ou théorique. Mais son appareil étant assez compliqué, et le pendule devant recevoir du chauffeur une première impulsion chaque fois que la machine commençait à fonctionner, a été abandonné.

Déjà à cette époque avait paru le régulateur à air comprimé de M. Molinié. Il fut d'abord reçu avec une grande faveur, parce qu'il possédait la propriété de ramener la vitesse exactement à la vitesse normale avant la

cessation de la cause qui produisait les variations de la vitesse, si toutefois cette cause durait un temps suffisant; mais comme il ne possédait pas la propriété bien plus utile de restreindre, dans de très-faibles limites, les écarts de vitesse, il fut aussi abandonné après bien des essais coûteux; il agissait trop lentement, il ne pouvait arrêter assez tôt les écarts d'accélération, écarts qui obligent à maintenir la vitesse moyenne beaucoup au-dessous de celle maxima; d'où il résultait une perte de production au moins aussi considérable, et peut-être plus considérable qu'avec les régulateurs à force centrifuge. Et pourtant, ce qui montre combien il faut se méfier des expériences faites en dehors tant de l'industrie que d'une théorie vraie et complète, même par les savants les plus habiles, le régulateur Molinié a été l'objet d'un rapport des plus élogieux fait par M. Combes, au nom d'une commission de la Société d'encouragement. M. Combes cite dans son rapport à l'appui de ses conclusions très-favorables, rapport dont M. Thomas lit quelques passages, *cinq* expériences aussi minutieuses que régulières, faites par la commission dans diverses manufactures; en outre, il s'étaie d'un *grand nombre de certificats* et du fonctionnement de 400 régulateurs montés dans autant d'usines.

Ce rapport de M. Combes semblait donc bien plus sûrement conclure en faveur du régulateur Molinié que celui de M. Tresca, au nom de la même Société, en faveur du régulateur présenté par M. Farcot, puisque M. Tresca ne s'appuie que sur *une* expérience au lieu de *cinq;* que sur *quelques* certificats au lieu d'un *grand nombre;* que sur l application *de* 25 *appareils* au lieu *de* 400.

Postérieurement au rapport de M. Combes, il y eut bien encore un millier de régulateurs Molinié qui s'ajoutèrent aux 400 existants. Cependant il y a longtemps déjà que l'on eût été embarrassé de trouver quelques-uns de ces régulateurs ayant survécu à l'expérience manufacturière.

La considération de principe, ou théorique, précédemment indiquée sur la régularisation, aurait pu faire prévoir l'insuccès du régulateur Molinié, indépendamment de toute question de difficultés d'entretien, car cet appareil n'en présentait aucune, il était fort simple de construction. Cependant on ne peut pas dire que l'essai de ce régulateur et aussi les résultats des régulateurs de M. Gast qui ont été installés aient été sans influence sur la meilleure régularisation qu'on réalise généralement aujourd'hui, dans les filatures, principalement avec les divers régulateurs, et plus spécialement avec celui de M. Larivière.

Le régulateur Larivière, ainsi qu'il a été expliqué dans la dernière séance, agit brusquement sur la détente ou sur le papillon, à volonté, à chaque demi-tour d'une machine à vapeur. L'énergie de son action résulte de la durée du demi-tour ou coup précédent, sans être troublée par la variation périodique de vitesse pendant ce demi-tour. Elle arrête donc pour ainsi dire dès leur naissance les accélérations ou ralentissements occasionnés par un changement dans la pression de la chaudière, ou dans le travail de l'usine; les grands écarts de vitesse se trouvent ainsi évités, et il devient possible alors de maintenir une vitesse moyenne plus rapprochée de la vitesse maxima.

La quantité de produit manufacturé avec la même main-d'œuvre se trouve augmentée proportionnellement à l'accroissement de la vitesse moyenne. Cette quantité paraît susceptible, avec un régulateur de ce genre bien installé et bien conduit, de s'élever de 0,93 à 0,95 de celle possible à réaliser avec une régularisation absolue, au lieu de 0.85 qu'on obtenait par les régulateurs à force centrifuge, tels qu'on les installait et conduisait anciennement, et de 0,88 à 0,90, tels qu'on sait les faire fonctionner aujourd'hui.

M. Thomas ne donne pas ces chiffres comme rigoureux et certains; ils résultent pour lui d'un ensemble de renseignements et d'observations; il les donne surtout pour bien faire saisir l'importance de la régularisation des machines, sur laquelle il appelle l'attention de la Société.

Le régulateur Larivière quoique n'ayant été l'objet d'aucun rapport officiel est aujourd'hui très-répandu dans l'industrie, appliqué aux machines à vapeur.

M. Thomas ne croit pas utile de discuter spécialement le régulateur présenté par M. Farcot; il se bornera à répéter que, ne différant des régulateurs ordinaires à force centrifuge que par des complications qui augmentent sa sensibilité, et continuant à subir les variations de vitesse périodiques de chaque demi-tour, il lui est impossible de régulariser mieux que ses devanciers. La sensibilité peut même, quand elle dépasse une certaine limite, devenir une cause de moins bonne régularisation; se trouvant en effet plus influencé par les variations périodiques de vitesse du volant, il peut arriver à ce régulateur de fermer par exemple l'introduction, à cause d'une accélération périodique, au moment même où il devrait commencer à l'ouvrir pour parer à une diminution résultant d'un accroissement dans le travail à effectuer. Quant à ramener la vitesse à celle normale, avant que la cause de perturbation ait disparu, il ne le peut pas plus que tous les autres régulateurs du même genre à force centrifuge.

M. Tresca avait espéré que la question serait discutée théoriquement, et qu'une démonstration mathématique ferait voir qu'un régulateur à force centrifuge ne pouvait agir au-delà d'une certaine limite. Dans ce qui vient d'être dit, il ne voit qu'une énonciation de faits; il veut bien croire que le régulateur Larivière soit très-bon, mais il n'a pas été à même d'en juger encore. Il pense que les expériences isolées, faites en toute sincérité et pour étudier un fait spécial, auraient complété les vues théoriques, et qu'il est toujours bon de voir jusqu'à quel point les faits viennent s'accorder avec le raisonnement. Il regrette vivement de n'avoir pu faire sur le régulateur de M. Larivière des expériences qui lui auraient permis d'apporter comparativement à la Société les résultats obtenus avec ce régulateur et avec celui de M. Farcot.

M. Thomas répond qu'il croit avoir fait entrer la discussion dans la voie théorique; une démonstration n'a pas besoin d'être exprimée mathématiquement pour être théorique et par conséquent vraie. La variation périodique de 1/30 à 1/50, à chaque tour, dans la vitesse des machines à vapeur, qui existe avec les proportions de volant généralement admises, est une conséquence théorique de la transformation du mouvement alternatif du piston en mouvement circulaire. Ce fait est si vrai en pratique, on pourrait

dire si fâcheux, que pour en atténuer les effets les propriétaires de filatures un peu considérables établissent, ordinairement, deux machines à manivelles croisées au lieu d'une seule de force double, malgré l'augmentation dans la dépense d'installation et dans celle d'entretien, malgré d'autres inconvénients encore.

M. Alcan fait observer que le régulateur Molinié a été mis de côté, non pas parce qu'il n'agissait pas assez rapidement, mais parce qu'il coûtait cher de première acquisition et d'entretien. M. Alcan pense que dans la question actuelle il faudrait aussi tenir compte, en ce qui concerne l'effet des régulateurs, des perfectionnements apportés à toutes les machines et particulièrement aux machines de filature qui, plus que toutes autres, doivent être bien réglées, et des conditions nouvelles apportées par ces perfectionnements. Il faut remarquer qu'il n'y a pas longtemps encore que les broches de certaine filature faisaient 2,000 tours au plus, et que maintenant on les considère comme marchant lentement quand elles en font 5,500.

M. Dubied fait remarquer que dans les bonnes machines à détente, où la vapeur n'est jamais introduite pendant une fraction de la course plus grande que le 1/5, l'action du régulateur ne peut s'exercer pendant les 4/5 restants. Il n'y a donc pas lieu de se préoccuper, avec M. Thomas, des variations possibles du pendule pendant que l'introduction de la vapeur est suspendue, et que la détente s'effectue. Le volant est alors le seul obstacle à l'emportement ou au ralentissement de la machine.

Le problème à résoudre pour bien régler une machine est de trouver un régulateur tel qu'au commencement d'une course la position de ses boules ait varié, en raison des différences de vitesse moyenne pendant le demi-tour précédent, de la quantité convenable pour n'introduire dans le cylindre, pendant le temps très-court où la vapeur est admise à pleine pression, que la quantité voulue de vapeur pour ramener la machine à la vitesse de régime. Ce temps n'est que de 2/10 de seconde dans l'exemple particulier que nous avons choisi d'une machine introduisant au 1/5 de la course et faisant 30 tours à la minute.

M. Dubied prétend que ce n'est pas tant à tel ou tel système de régulateur qu'il faut demander une bonne régulation des machines à vapeur, qu'à un régulateur bien étudié et bien proportionné dont le principe peut être basé d'ailleurs sur la force centrifuge, l'aspiration de l'air, l'élévation de l'eau, etc.

Il dit à ce propos que M. Gast, cité à juste titre par M. Thomas comme un homme très-versé dans l'étude de ces questions, a abandonné son régulateur chronométrique à pendule simple, dont le principe est excellent, par suite de certains inconvénients pratiques qu'il présente, pour employer dans sa nouvelle filature d'Issenheim un pendule conique dont il est très-satisfait.

Le pendule conique est d'ailleurs employé dans beaucoup de filatures où il remplit parfaitement son but. Il ne faut pas conclure de ce que certains pendules coniques dont parle M. Thomas marchent mal, de ce qu'il faut laisser du jeu dans les articulations des pièces qui transmettent leur action à la valve ou à la détente, que tous les pendules coniques sont mauvais sans exception.

Il est à remarquer que la construction des pendules coniques a fait de très-grands progrès depuis un certain nombre d'années.

Les premiers pendules coniques construits avaient le défaut grave de ne maintenir la machine qu'à une vitesse inférieure ou supérieure à la vitesse de régime lorsque le travail resistant venait à augmenter ou à diminuer.

M. Charbonnier a remédié le premier à cet inconvénient en ajoutant à ses appareils un contrepoids inférieur à moment variable destiné à maintenir les boules en équilibre à la vitesse de régime dans toutes leurs positions.

On est arrivé à des résultats analogues en faisant marcher les boules suivant des arcs de paraboles, puis en combinant, comme vient de le faire M. Farcot, le mouvement parabolique des boules avec l'application du contrepoids inférieur.

Il convient donc de comparer les nouveaux régulateurs basés sur un autre principe que celui de la force centrifuge, tels que ceux de MM. Larivière, Moison, etc., avec les pendules coniques perfectionnés que M. Dubied s'attachera toujours à défendre comme excellents, et qui sont loin d'être compliqués comme cela a été dit.

M. Tresca ne pense pas que M. Thomas ait démontré théoriquement, comme le lui avait demandé M. le Président, que le régulateur à force centrifuge ne peut régler à l'égal des autres régulateurs. La théorie de cet appareil est bien connue, et il s'agirait, par la considération des forces vives, de faire voir quelles sont les limites d'irrégularité pour lesquelles l'appareil serait impuissant.

Si dans certaines machines récentes, on a obtenu une régularité parfaite, c'est sans contredit parce que l'on a employé à la fois un bon régulateur et un bon volant ; mais plusieurs circonstances ont certainement contribué à rendre celui-ci plus efficace. La théorie des forces vives appliquée au calcul du volant permet, dans tous les cas, de calculer le poids qu'il faut donner à la couronne ; et, si l'on applique franchement cette théorie aux machines à détentes plus ou moins prolongées, on voit qu'en-deçà d'une certaine limite d'admission tel volant, qui ne régulariserait pas le mouvement pour une admission de demi-course, régularise parfaitement, à égalité de vitesse et de puissance de la machine, pour une admission d'un quatrième de course.

Cette circonstance tient à ce que l'effort maximum de la pleine pression, n'agissant dans les machines à grande détente que pendant les premiers instants de la course, correspond toujours à un déplacement très-petit; de telle sorte que le moment de la puissance n'intervient pas dans le calcul du volant avec d'aussi grandes variations que pour des machines à plus grande admission; ainsi, du reste, qu'il est facile de s'en assurer par des tracés graphiques.

Il ne faut donc pas s'étonner que pour les machines à grande détente les volants règlent très-bien, sans pour cela que l'on soit obligé de leur donner des dimensions inaccoutumées.

C'est par des aperçus ainsi basés sur les théories, en quelque sorte fondamentales, que M. Tresca aurait voulu que M. Thomas trouvât la preuve

de l'impossibilité qu'il avait tout d'abord signalée, et que l'on ne saurait admettre sans preuves.

M. LE PRÉSIDENT fait observer que si l'on se borne à affirmer qu'il est impossible de régler une machine, au moyen d'un appareil à force centrifuge, dans l'intervalle d'un tour de volant, cela ne s'appliquera qu'au cas où le volant et le régulateur sont placés directement sur l'arbre de la machine, le nombre des révolutions du piston, du volant et du régulateur étant égal, mais qu'il est dans l'industrie un très-grand nombre d'applications où le volant et le régulateur font plusieurs révolutions pour une seule de la machine. C'est le plus grand nombre des applications qu'il faut considérer.

En présence de la demande formulée par M. Tresca, qui semble être appuyée par les dispositions des membres qui assistent à la discussion, que les adversaires de la force centrifuge veuillent bien appuyer leur opposition sur des déductions théoriques établissant l'impossibilité d'employer les appareils à force centrifuge, quelque ingénieux qu'ils soient, à la régularisation des machines ; il croit devoir maintenir la discussion dans cette voie.

M. FAURE voudrait qu'une expérience vînt décider la question.

M. THOMAS répond, au sujet de ce qu'a dit M. Alcan, que le régulateur Molinié a échoué uniquement parce que son action était trop lente, à cause de son grand réservoir d'air comprimé. La question de l'augmentation de vitesse des machines est tout autre chose que celle des régulateurs.

Au sujet de la proposition de M. Faure de faire des expériences, M. Thomas ajoute que des expériences restreintes signifient en général assez peu en matière industrielle. Les expériences de M. Combes, sur le régulateur Molinié, n'ont-elles pas fait tirer des conclusions dont un plus grand nombre d'applications manufacturières est bientôt venu montrer le peu de certitude?

Quant aux observations de M. Tresca, elles ne prouvent nullement qu'il n'y ait pas de variations de vitesse pendant chaque tour d'une machine à vapeur; cette variation est du reste évidente et certaine ; du moment où cette variation existe, tout régulateur dont le jeu est invariablement lié à la marche du volant ne saurait régulariser la vitesse à une fraction moindre que l'écart périodique par coup. Si le régulateur ainsi lié est très-sensible, il obéit à cet écart; et, en y obéissant, il arrive nécessairement que, par instants, ses mouvements sont en désaccord avec ceux que tendraient à lui donner les perturbations extérieures à la machine. Si au contraire il n'obéit pas à l'écart périodique, comme le suppose M. Dubied, à plus forte raison n'obéira-t-il pas à une perturbation extérieure tendant à modifier la vitesse, tant que la vitesse n'aura pas déjà été modifiée par cette perturbation d'une quantité supérieure à l'écart périodique.

M. THOMAS reconnaît parfaitement qu'un fort volant diminue l'irrégularité par tour, là n'est pas la question, et qu'il facilite l'action de tous les régulateurs pour parer aux causes extérieures de variation de vitesse, mais il faudrait aussi tenir compte en même temps de l'excédant de perte de travail en frottement qu'il occasionne. Le meilleur régulateur est celui qui régularise le mieux avec le moindre volant.

M. Dubied affirme que le pendule conique à force centrifuge, convenablement disposé et proportionné, est un excellent régulateur.

Il n'attaque pas le régulateur Larivière, mais il n'admet pas comme un axiôme avec M. Thomas, qu'il soit impossible d'obtenir une régulation parfaite avec la force centrifuge.

Lorsqu'une machine à vapeur faisant 30 tours par minute, par exemple, possède un volant assez puissant pour que les écarts extrêmes de sa vitesse ne dépassent pas le 1/30 de sa vitesse moyenne, est-il juste de dire avec M. Thomas ?

1° Que le régulateur à boule dérégiera la machine pendant un demi-tour, s'il est sensible à un excès de vitesse de moins de 1/30 ;

2° Qu'il la réglera mal pendant une période composée de plusieurs révolutions, s'il est insensible à ce même excès.

Il faut distinguer dans une machine à vapeur des variations de vitesse de divers genres :

1° Les variations de vitesse qui se reproduisent périodiquement à chaque coup de piston par suite des excès alternatifs des travaux moteurs et résistants l'un sur l'autre, alors même que le travail moteur total est égal au travail résistant total pendant la durée de la période ;

2° Les variations de la vitesse moyenne.

On sait que lorsque le travail résistant est constant pendant une période, ce qui est généralement le cas, on peut l'envisager comme proportionnel au chemin parcouru par la jante du volant. Il n'en est pas de même du travail de la vapeur dans le cylindre où la pression varie pendant la détente, tandis que le piston marche avec une vitesse variable.

Il résulte de là que le mouvement des volants des machines à vapeur, tant que le travail moteur moyen est égal au travail résistant, est un mouvement périodiquement uniforme dans lequel certains espaces successifs égaux sont parcourus dans des temps égaux, sans que la même condition soit remplie pour les parties de ces espaces.

M. Thomas répond que les remarques précédentes, loin d'infirmer ses assertions, tendent au contraire à les confirmer, du moment où M. Dubied admet avec lui que le volant n'a qu'un mouvement *périodiquement* uniforme.

En affirmant que plusieurs régulateurs à force centrifuge, tels que ceux de MM. Charbonnier et Farcot sont d'excellents régulateurs, et en niant simplement l'impossibilité d'obtenir avec eux une régularité parfaite, M. Dubied oublie complétement, continue M. Thomas, la démonstration donnée dans les ouvrages et cours, prouvant, au contraire, théoriquement l'impossibilité, inhérente à tous les régulateurs de ce genre, de ramener la vitesse à celle normale, tant que dure la cause extérieure d'accélération ou de retard. M. Thomas croit utile de reproduire ici cette démonstration très-connue ; il a dû seulement insister sur l'observation nouvelle présentée par lui à la Société, à savoir qu'à cette première impossibilité de bonne régularisation s'ajoutait, pour les machines à vapeur, la circonstance de la variation périodique de vitesse du volant, circonstance qui limite à une

fraction déterminée la régularité possible à réaliser avec tous ces appareils à force centrifuge liés à la fois au volant et au papillon ou au tiroir de détente. Par conséquent les déductions de M. Dubied ne sont pas admissibles.

M. Faure ne voit pas en quoi le régulateur Larivière peut théoriquement mieux régler une machine que les régulateurs à force centrifuge; il demande qu'une expérience comparative soit faite.

M. Thomas répond que c'est parce qu'il agit brusquement après chaque demi-tour et indépendamment du mouvement du volant pendant son action. Il n'est pas soumis aux variations périodiques de vitesse que prend cet organe, mais seulement à la moyenne de sa vitesse pendant le demi-tour déterminant son action sur l'introduction de vapeur.

Plusieurs membres font observer que des expériences ne peuvent être faites par la Société, mais que chacun individuellement peut lui apporter les résultats de ses travaux; et à la suite de cette observation, MM. Tresca et Dubied promettent d'apporter des notes qu'ils liront à la Société.

La discussion est ajournée jusque après la production de ces notes.

M. le Président annonce que S. M. l'Empereur a bien voulu donner une nouvelle marque de satisfaction à M. Vuigner, ingénieur en chef du chemin de fer de l'Est, ancien président de la Société des ingénieurs civils, en lui épargnant les conséquences de l'arrêt qui l'avait atteint à la suite d'un accident sur le chemin de fer de l'Est, arrêt qui avait causé la plus douloureuse impression à tous les ingénieurs, et à tous ceux qui connaissent les services publics rendus par M. Vuigner et qui savent quelle part de talent, de dévouement et de soins il a apporté dans l'établissement des chemins de fer, comme dans le service d'entretien et de surveillance.

M. le Président rappelle qu'à cette occasion M. Vuigner a trouvé, dans l'administration des Ponts-et-Chaussées et parmi les ingénieurs de ce corps, la plus vive sympathie, et que leur témoignage, particulièrement celui de M. Jullien, inspecteur général des Ponts-et-Chaussées, directeur du chemin de fer de l'Ouest, a été des plus favorables. Le plaidoyer de M. Dufaure est, à cet égard, un document que M. le Président recommande à l'attention des membres de la Société.

MÉTALLURGIE DU FER

étude sur les théories actuelles

PAR

M. A. LA SALLE

Chargé par M. le Président de la Société de résumer, dans une note condensée, les opinions qui ont été introduites dans la discussion sur le procédé Bessemer, par suite de publications récentes qui touchent aux théories de la métallurgie du fer, et particulièrement à celle de l'acier, nous avons cru devoir passer en revue les travaux les plus remarquables dont nous avons pu avoir connaissance, et les soumettre à une discussion comparative, afin d'en examiner, au point de vue pratique, le degré d'utilité.

Le peu de temps dont nous avons pu disposer entre deux séances ne nous a pas permis de donner à cette discussion tout le développement dont elle serait susceptible; nous ne pouvions non plus, en raison de notre incompétence, suivre la question sur le terrain purement scientifique; nous avons dû nous borner à l'analyser au point de vue de son intérêt pratique, c'est-à-dire des services que l'industrie peut immédiatement en retirer.

Les théories, basées le plus souvent sur des hypothèses que l'insuffisance de nos connaissances ne permet pas de vérifier, n'ont de réel mérite aux yeux des praticiens qu'autant qu'elles leur offrent des moyens de perfectionner leur industrie, et de les guider plus sûrement dans leurs recherches expérimentales.

Celles qui expliquent le plus grand nombre de faits sont à cet égard les plus recommandables, parce qu'elles peuvent faire espérer qu'elles en feront découvrir d'autres, et qu'on pourra en tirer profit. Les travaux uniquement scientifiques qui ne reposent que sur des expériences de laboratoire bien même qu'ils seraient mieux dans la voie de la réalité, peuvent quelquefois, au point de vue pratique, égarer les questions industrielles, surtout lorsque le problème n'a pas été étudié sous toutes ses faces, et qu'on n'a pu encore en coordonner les déductions ou les exposer méthodiquement, sous forme de lois générales s'appliquant indistinctement à tous les cas d'un même sujet.

Nous n'entendons aucunement faire de la critique ; nous professons la plus grande admiration pour l'habileté que témoignent les savantes recherches dont on se préoccupe à si juste titre en ce moment ; nous n'avons en vue, nous le répétons, que l'utilité pratique, préférant, comme praticien, une théorie hypothétique qui explique des faits, et en fait découvrir d'autres, aux données uniquement scientifiques, fussent-elles rigoureusement exactes, quand ces dernières se présentent trop incomplètes pour faire avancer les questions, ou trop obscures pour ne pas risquer de les faire reculer.

Nous n'avons pas besoin d'ajouter que les opinions émises dans cette étude nous sont entièrement personnelles et n'engagent par conséquent en aucune manière l'avis de la Société des ingénieurs civils. Au surplus, on retrouvera dans les résumés de nos séances les opinions des divers membres qui ont pris part aux discussions, tant sur les publications récentes, que sur notre propre travail qui a été lu dans la séance du 5 mars, et dont le but essentiel est de poser la question, de réunir des documents utiles et de provoquer la discussion.

Jusqu'à ces derniers temps, les métallurgistes admettaient

généralement que les divers produits, fers, aciers et fontes, considérés dans leur état de pureté, c'est-à-dire abstraction faite des substances nuisibles qui altèrent accidentellement leur qualité, ne différaient entre eux, et dans leurs aspects variés, que par les proportions de carbone qui entrent dans leur composition, et par la manière dont ce dernier corps est contenu dans le métal.

Chacun reconnaît que le carbone peut s'unir au fer en toutes proportions, jusqu'à un maximum qui n'est infranchissable qu'en raison de ce que nos moyens d'élever la température sont bornés.

Les limites de proportions qui correspondent aux trois natures de produits ne peuvent s'établir d'une manière rigoureuse, parce qu'il n'y a réellement pas entre eux de démarcation bien tranchée; et l'on peut dire qu'eu égard à la composition chimique les trois classes de composés se confondent dans une échelle de progression continue, qui emprunte à d'autres caractères généraux les dénominations usitées dans le commerce et l'industrie.

Ainsi l'acier diffère du fer par sa faculté de durcir à la trempe, et il se distingue de la fonte par sa ductilité.

La faculté de durcir est proportionnelle à la quantité du carbone contenu; elle se retrouve à un très-haut degré dans la fonte, elle est déjà sensible dans les fers légèrement carburés; il est donc certain que cette propriété est due à une forme particulière du carbone dans le fer. Mais la fonte n'étant jamais rigoureusement pure, elle ne peut, sous ce rapport, rendre les mêmes services, parce que les impuretés, en détruisant le corps du métal, le rendent fragile; ces impuretés jointes aux proportions plus élevées de carbone augmentent d'ailleurs considérablement sa fusibilité, et lui ôtent par suite toute soudabilité et ductilité.

On peut donc dire, en thèse générale et en suivant l'échelle de carburation, que tout produit pur en fer carburé ne sera digne du nom d'acier, qu'autant qu'il sera susceptible de prendre, par la trempe, un durcissement capable d'être utilement employé dans les arts, et qu'il cessera de le mériter lorsqu'on ne pourra plus l'amener, par le forgeage, aux formes réclamées par les besoins de l'emploi.

L'acier doit sa grande supériorité sur les métaux de la même famille à ce qu'on le prépare pur, et à ce qu'occupant le milieu de l'échelle il participe à la fois des meilleures propriétés du fer et de la fonte ; il emprunte à l'un la ductilité, la soudabilité, la tenacité, à l'autre la dureté, la fusibilité, etc. ; de la réunion de ces qualités, il en naît d'autres telles que l'élasticité, le tranchant, le poli, etc. qui s'y développent au plus haut degré.

Si l'on examine maintenant les proportions de carbone qui correspondent à ces délimitations commerciales, on trouve qu'elles sont assez exactement comprises dans les chiffres ci-après :

1° Pour les fers de 0 à 0,25 0/0.
2° Pour les aciers de 0,5 à 2,50 0/0.
3° Pour les fontes de 2 à 5,50 0/0.

Mais cette échelle de proportions n'apprend rien quant aux diverses formes sous lesquelles le carbone se présente dans le fer. L'acier offre la plus grande analogie de composition avec le fer aciéreux et la fonte blanche rendue grise et douce par le grillage; la constitution des fontes grises paraît être indépendante des proportions de carbone; elle est toute différente de celle des fontes blanches qui en contiennent autant; ces dernières, par contre, se rapprochent infiniment de la nature des aciers trempés, quoique la composition n'en soit pas la même; enfin, les fontes grises durcissent à la trempe, et elles blanchissent lors-

que, étant liquéfiées, elles sont soumises à un prompt refroidissement.

Ces apparentes anomalies, qui paraissent tenir à des conditions physiques peu étudiées, avaient, faute d'explication plus satisfaisante, fait penser que le carbone pouvait s'unir au fer de trois manières différentes, savoir :

1° A l'état de carbone libre ou graphite;

2° Combiné avec toute la masse du fer;

3° Enfin, à l'état de polycarbure dissous dans toute la masse.

On était arrivé ainsi à considérer les fers aciéreux et l'acier non trempé comme contenant le carbone à l'état de carbure dissous dans un excès de métal; les aciers trempés et les fontes blanches comme contenant le carbone, en proportions variables à la vérité, mais toujours combiné de la manière la plus homogène avec toute la masse du métal; les fontes grises comme contenant le carbone, partie à l'état de carbure dissous, partie à l'état de graphite mélangé; enfin, les variétés intermédiaires comme étant des mélanges des types principaux.

Dans cette théorie, qui ne tient aucun compte des effets physiques de la trempe, et qui n'attribue à cette dernière qu'une action purement chimique de transformation, on a dû fortement se préoccuper de la nécessité d'admettre ce fait anormal d'une combinaison pouvant exister en toutes proportions quelconques; mais elle procure des explications plausibles à quelques-uns des principaux phénomènes de la métallurgie, et, faute de mieux, il a bien fallu s'en contenter.

Durant ces dernières années, l'un de nos collègues, M. Jullien, a publié dans nos Bulletins divers mémoires qui tendent à modifier considérablement ces anciennes données théoriques, et il vient, enfin, de faire paraître un traité complet de la métallurgie du fer.

La nouvelle théorie de M. Jullien repose entièrement sur ce

principe : que les composés de carbone et de fer, qui ont été envisagés jusqu'à ce jour comme étant des combinaisons, ne doivent être considérés que comme de *simples dissolutions* ou alliages des deux corps.

M. Jullien démontre l'exactitude de ce principe, en s'appuyant sur les caractères généraux qui distinguent les combinaisons des dissolutions.

Ces caractères sont les suivants :

1° *Quand il y a combinaison :* les composants sont en proportions constantes et exactes ; les propriétés physiques et chimiques du composé différent essentiellement de celles des composants ; la décomposition par réaction chimique ou de la pile n'a lieu que successivement, si le réactif est soluble dans ce composé ; s'il est insoluble, que là où il y a contact atomique entre le réactif et le composé ;

2° *Quand il y a dissolution :* les composants peuvent être en toutes proportions au-dessous d'un maximum de saturation ; les propriétés physiques et chimiques du composé participent de celles des composants ; la décomposition par réaction chimique ou de la pile a lieu et se transmet simultanément dans toute la masse, s'il y a seulement un contact superficiel entre le réactif et le composé.

Si, maintenant, on examine les divers produits, fers, aciers et fontes, eu égard aux proportions variables de carbone qui les distinguent les uns des autres, on est bien forcé de reconnaître.

1° Que le fer s'allie au carbone en toutes proportions depuis les fers doux et forts, qui n'en contiennent que de très-faibles quantités, jusqu'aux fontes les plus carburées qui en retiennent jusqu'à 5 et 6 p. 0/0.

2° Que, malgré leurs proportions infiniment variées de carbone, les diverses natures de fers, d'aciers et de fontes conservent, quant à leurs propriétés physiques, telles que la fusibilité,

la malléabilité, la ténacité, la ductilité, la dureté, l'élasticité, la couleur, les propriétés magnétiques, etc., etc., une analogie et un air de famille qui ne laissent aucun doute sur leur similitude; que les différences de caractères suivent d'une manière régulière et intime la progression des proportions du carbone contenu; et qu'il faut passer d'une extrémité de l'échelle à l'autre pour constater des oppositions bien tranchées.

Il en est absolument de même quant aux propriétés chimiques, les mêmes réactions agissent sur les uns et sur les autres; aucun ne se dérobe à une action chimique qui ne laisserait pas insensibles certains d'entre eux.

5° Enfin il suffit de considérer que, dans la cémentation des fers carburés, aciers et fontes, dans les oxides métalliques, la réduction s'opère à travers la masse solide quand bien même le réactif ne l'attaque qu'à la surface, pour être certain que la décomposition a lieu sans qu'il y ait contact atomique avec toutes les parties du composé.

Si, maintenant, on veut bien passer en revue les divers types de la famille des fers, aciers et fontes, on reconnaîtra que le carbone y existe sous deux formes que le principe de la dissolution justifie parfaitement.

Dans la cémentation du fer par le charbon de bois, la proportion de carbone absorbée par le métal devient d'autant plus grande que la température est plus élevée, et est maintenue plus longtemps par rapport à l'épaisseur du fer; on obtient successivement du fer fort, de l'acier doux et dur à tous les degrés, et enfin de la fonte si la température est suffisante pour mettre en fusion le produit déjà carburé. Il y a donc pour chaque température un maximum de saturation proportionnelle. Si, alors, la fonte a pu absorber, pendant qu'elle était liquide et que sa température continuait à croître, un excès de carbone, elle doit chercher plus tard, en se re-

froidissant, à s'en débarrasser pour n'en retenir que la proportion qui correspond à la température de sa solidification. C'est en effet ce qui arrive lorsque le refroidissement s'effectue avec assez de lenteur pour que la séparation puisse avoir lieu ; dans ce cas, l'excès de carbone s'isole à l'état de graphite qui reste intercalé entre les molécules de la fonte; la proportion de l'excédant dissous est d'autant moindre que la solidification a pu s'effectuer à une température plus basse, et la fonte est d'autant plus grise qu'elle contient moins de carbone dissous et plus de graphite intercalé.

Si, au contraire, le refroidissement a lieu brusquement, le graphite n'a pas le temps de se séparer; il reste forcément dissous, mais dans des conditions anormales qu'il cherchera à détruire dès qu'il y sera favorisé par une nouvelle fusion.

On conçoit d'après cela comment on parvient à transformer la nature des fontes sans changer leur composition ; on comprend pourquoi les unes sont plus fusibles que les autres ; pourquoi elles conservent plus ou moins longtemps cette fusibilité ; et on arrive à expliquer d'une manière satisfaisante la plupart des phénomènes de la métallurgie.

Au reste les anciens métallurgistes étaient arrivés par la force des choses à admettre, comme nous l'avons déjà vu, que, dans le plus grand nombre des cas, la proportion de carbone qu'ils considéraient comme combinée pouvait l'être sous forme de carbure, dissous à proportions constantes et exactes dans un excès de fer ; ils admettaient donc le principe de la dissolution solidifiée, et la nouvelle théorie de M. Jullien ne diffère de cette manière de voir qu'en ce qu'elle établit que c'est le carbone pur qui est dissous et non un carbure de fer.

Pour démontrer ce dernier point, M. Jullien fait tout simplement remarquer que si le composant dissous était un carbure, le dépôt que fait la fonte, en se solidifiant lentement, devrait

être ce carbure et non du carbone pur à l'état de graphite. Cela paraît logique, car on ne saurait comprendre comment un simple refroidissement lent décomposerait un carbure, qui peut se former indistinctement à des températures inférieures ou plus élevées que celles de solidification des fontes grises.

Quant à la forme particulière affectée par le carbone dans l'acier trempé et dans la fonte blanche, qui a fait croire aux anciens métallurgistes à la possibilité d'une combinaison en toutes proportions, M. Jullien l'explique par les phénomènes de la trempe, qui, selon lui, n'ont pas d'autre conséquence que de déterminer ou empêcher, dans des circonstances différentes les unes des autres, la cristallisation des corps. M. Jullien a remarqué à ce sujet, qu'en général les métaux qui, comme le soufre, sont doués d'un pouvoir rayonnant très-faible ne peuvent cristalliser qu'à la condition d'être maintenus pendant un certain temps à une température voisine de la fusion, ou, tout au moins, d'être soumis à un lent refroidissement; qu'au contraire les corps, dont le pouvoir rayonnant est très-fort, comme c'est le cas pour le verre par exemple, cristallisent d'autant plus facilement, qu'ils sont exposés à un refroidissement plus rapide.

Il en conclut que le fer, dont le pouvoir rayonnant est très-faible, cristallise par anéantissement de son pouvoir émissif, et que le carbone, dont le pouvoir rayonnant est très-fort, doit cristalliser par exaltation du pouvoir émissif.

L'action se faisant sentir d'abord à la surface des corps, on peut conclure que : dans le premier cas, la cristallisation marchera du centre à la surface ; dans le second, de la surface au centre. Ce fait est connu pour le fer, et il semble démontré pour le carbone, par l'existence de graphite au centre de certains diamants, si on admet que, primitivement, ils aient été liquides. Si l'on se reporte maintenant à la trempe de l'acier,

on reconnaîtra que, par le fait du refroidissement brusque, le fer doit se rapprocher le plus possible de l'état fibreux, c'est-à-dire de l'état qu'il affectait immédiatement auparavant, de l'état mou par conséquent; le carbone au contraire cristallise, mais en procédant de la surface au centre; si la pièce qu'on trempe est épaisse, elle ne peut se refroidir aussi rapidement à l'intérieur; il en résulte que la trempe n'agit que sur une certaine épaisseur, qui sera d'autant plus grande que le carbone contenu sera plus abondant, et que le refroidissement aura été plus énergique.

La trempe de l'acier détermine donc à la surface des objets, et dans une épaisseur variable, la formation de cristaux de carbone disséminés dans le fer fibreux, c'est-à-dire qu'elle enchâsse le corps le plus dur connu, dans le corps le plus tenace. On peut, d'après cela, se faire une idée des immenses résultats qu'on peut obtenir de la trempe des aciers, et l'on s'explique les précieuses qualités qui en découlent, telles que l'élasticité, le tranchant, la dureté, le poli, etc., etc.

Pour la fonte, le phénomène est absolument le même; si les résultats n'en sont pas aussi utiles, cela tient, comme nous l'avons déjà dit, à ce que les fontes ne sont jamais pures, qu'elles manquent par conséquent de corps et de solidité.

Dans la fonte blanche, la solidification ayant eu lieu à une température élevée, le métal a pu retenir à l'état de dissolution la totalité du carbone contenu, sans qu'aucune parcelle ait pu s'en séparer à l'état de graphite; il résulte précisément de cette grande quantité de carbone dissous, qu'en raison du pouvoir rayonnant très-développé de ce dernier le refroidissement général de la masse en reçoit une grande énergie, et que le carbone cristallise intégralement dans toute la masse.

Dans la fonte grise la solidification a lieu à basse température; la majeure partie du carbone a eu le temps de s'en séparer

à l'état de graphite; la quantité de carbone restée en dissolution est faible, la constitution de cette fonte ne se prête donc pas naturellement à un refroidissement énergique; et, si aucune cause extérieure ne vient exalter ce refroidissement, le carbone ne cristallise pas, il reste mou ou amorphe.

La fonte blanche rendue douce par grillage a subi artificiellement un lent refroidissement qui a ramené le carbone, devenu liquide pendant le grillage, à l'état mou; mais, comme dans ce cas particulier il n'y a pas eu fusion du fer, il n'a pu se séparer du carbone à l'état de graphite; par contre, si la fonte blanche, après avoir été ramenée à l'état de fusion, est soumise à un refroidissement lent, elle devient grise.

Le même état amorphe existe pour le carbone dans les aciers non trempés et dans les fers aciéreux; et, en appliquant le principe de la trempe aux divers produits, on arrive à cette conclusion :

1° Que l'acier doux est une dissolution de carbone mou dans le fer;

2° L'acier trempé et la fonte blanche sont des dissolutions de carbone cristallisé dans le fer mou;

3° La fonte grise est un mélange de graphite et d'acier doux;

4° La fonte grise trempée est un mélange de graphite et d'acier trempé, etc., etc.

Il serait trop long de reproduire ici tous les raisonnements qu'emploie M. Jullien pour la démonstration des nouveaux principes qu'il cherche à faire prévaloir; nous ne pouvons, à cet égard, que renvoyer à son ouvrage; mais nous en avons dit assez pour pouvoir conclure qu'il y a au moins de fortes raisons pour n'envisager les composés de fer et carbone que comme de simples dissolutions, puisqu'ils en accusent tous les caractères, tandis qu'ils ne présentent aucun de ceux des combinaisons. En outre, cette méthode se prête si favorablement à l'explica-

tion raisonnée des phénomènes généraux de la métallurgie, qu'il y a lieu de la recommander chaudement au sérieux examen des savants et des praticiens qui ont quelque intérêt à voir un peu clair dans la question.

Nous ne prétendons pas toutefois que les deux principes généraux, introduits par M. Jullien dans la théorie, savoir : le principe de la dissolution et celui de la trempe suffisent aujourd'hui pour jeter une lumière complète sur toutes les questions de la métallurgie. Certains faits inexpliqués attendent encore une solution satisfaisante. On sait, par exemple, que le soufre et d'autres substances poussent la fonte à blanchir en se solidifiant; que le silicium et le phosphore ont une tendance à produire l'effet contraire; et que la présence simultanée de plusieurs de ces corps peut produire des effets intermédiaires; mais on ne se rend pas bien compte des lois physiques qui amènent ces conséquences.

M. Jullien nous dit bien, à la vérité, que le silicium, dont les propriétés chimiques se rapprochent du reste beaucoup, comme on le sait, de celles du carbone, se dissout dans le fer comme ce dernier corps, tandis que le soufre et le phosphore donnent lieu à de véritables combinaisons avec le métal; il est naturel d'admettre, alors, que la simple dissolution doit céder le pas à la combinaison; cela nous explique pourquoi les fontes sulfureuses et phosphoreuses se montrent disposées à se débarrasser des autres corps. Cependant le soufre a autant d'affinité pour le carbone que pour le fer; il retient donc le premier dans la dissolution, et l'empêche de se séparer à l'état de graphite; le phosphore, au contraire, n'ayant d'affinité que pour le fer et se montrant complétement indifférent pour le carbone et le silicium, tend cependant à les chasser de la dissolution en se substituant à eux, et le carbone se montre tout disposé à se séparer du fer à l'état de graphite.

Quand les quatre corps sont en présence, le phosphore doit, pour les mêmes raisons, l'emporter sur les autres; parce que son affinité se concentre exclusivement sur le fer, tandis que celle du soufre se partage, et hésite entre le fer et le carbone.

Les conséquences à tirer de tous ces faits sont que les fontes uniquement sulfureuses sont blanches et peu siliceuses, que les fontes uniquement phosphoreuses sont grises; que les fontes ne contenant ni phosphore ni soufre peuvent être indifféremment peu ou très-siliceuses, selon les circonstances dans lesquelles elles ont été produites; leur nature physique doit dépendre des proportions des composants dissous et des conditions de trempe ou de refroidissement dans lesquelles elles se sont trouvées lors de leur solidification. On conçoit, du reste, que si la fonte doit sa fusibilité au carbone, elle doit être d'autant plus fusible qu'elle est plus carburée, et que, si la saturation en carbone est proportionnelle à la température, sa solidification doit avoir lieu à une température d'autant plus basse que la saturation a eu lieu à une température plus élevée; la fonte pure, c'est-à-dire celle qui ne contient ni soufre ni phosphore et qui ne retient que peu ou point de silicium, doit être d'autant plus grise que la teneur en carbone est plus considérable, d'autant plus grise, par conséquent, qu'elle a été produite à plus haute température. On comprend aussi comment un refroidissement accidentel ou artificiel peut blanchir même les fontes fortement carburées; on s'explique par conséquent la formation des fontes blanches par surcharge de minerais, ou par allure froide du fourneau, le blanchiment de la fonte dans la préparation du fin-métal, et l'on parvient à se rendre assez exactement compte de la formation des types variés de produits qu'on rencontre dans les traitements métallurgiques.

Dans les fers, la présence des substances étrangères s'accuse par l'apparence de la texture. Le nerf est l'indice d'un fer

très-affiné, c'est-à-dire presque complétement décarburé; il est blanc mat et long lorsque le fer est pur, et lorsque, bien entendu, il a pu se refroidir assez promptement pour ne pas cristalliser, c'est l'état fibreux par excellence; la trempe le développe dans ce cas au plus haut degré. Le nerf devient brillant, tire sur le bleu et se raccourcit au fur et à mesure que les proportions de carbone augmentent; il disparaît complétement lorsque le fer est suffisamment carburé. Dans ce cas, la cassure présente un grain fin et crochu; c'est le caractère des bons fers forts et des aciers; ces derniers ne se distinguent plus que par la finesse qui augmente, et par la couleur qui tire de plus en plus au bleu à mesure que la proportion de carbone augmente. Un nerf blanc et brillant est l'indice d'un fer légèrement phosphoreux; lorsque les proportions de phosphore augmentent, la cassure du fer prend un grain à larges facettes cristallines qui subsistent même après l'étirage. Enfin le nerf terne, tirant sur le noir, est toujours court; il est l'indice des fers sulfureux.

Il est reconnu, en outre, que le phosphore augmente beaucoup la fusibilité du fer, ce qui le rend tendre, quoique très-malléable à chaud. M. Jullien pense que cela tient à ce que le phosphure de fer est fusible à une température d'autant plus basse qu'il est à l'état de dissolution dans la masse du fer; mais comme il est toujours cristallisé quand il est solide, il rend les fers cassants à froid; il est remarquable que les fers phosphoreux sont encore malléables à une température qui permet de les toucher avec la main sans se brûler, et que, dès qu'ils sont froids, ils reprennent toute leur fragilité.

Le sulfure de fer n'étant pas cristallisé à l'état solide, il ne peut nuire beaucoup à froid; mais lorsqu'il se liquéfie dans le fer à haute température, il rend ce dernier également tendre, et lui fait perdre toute consistance entre le rouge brun et le

rouge blanc ; il redevient malléable au-delà du rouge blanc, mais il détermine des criques pendant le forgeage lorsqu'on le travaille entre les températures ci-dessus indiquées ; et cela d'autant plus que la proportion de soufre est plus considérable ; il est donc permis de supposer que cette fragilité peut provenir d'un changement d'état physique du sulfure dissous.

Quant au silicium, il ne manifeste sa présence qu'en raccourcissant le nerf, comme le fait le carbone ; mais il agit comme impureté intercalée en enlevant du corps au métal.

La présence du silicium est surtout nuisible dans les aciers, parce que le corps est leur qualité la plus essentielle ; le soufre en petite quantité peut produire un effet semblable, mais il n'est pas autrement pernicieux que dans le fer ; il l'est peut-être moins comparativement, parce qu'il a toujours une tendance à se combiner avec le carbone, ce qui neutralise en partie ses mauvais effets. Enfin le phosphore est particulièrement nuisible aux aciers, en ce qu'outre l'extrême fragilité qu'il communique à froid il expulse le carbone aux températures élevées, et enlève par conséquent au métal toute persistance aciéreuse.

On voit donc, en somme, que la théorie de M. Jullien rend assez bien compte des causes et des effets ; mais il est constant qu'en dehors des influences physiques et de l'action de la température, la formation des composés de fer et carbone se fait avec infiniment plus d'énergie dans certains cas que dans d'autres ; que, notamment, les phénomènes de la cémentation ne sont pas suffisamment expliqués ; il faut croire alors qu'il existe des causes inconnues que la science devra nous réveler un jour.

Il y a, d'ailleurs, dans ce phénomène si extraordinaire de la cémentation un fait que la raison a peine à comprendre, c'est celui de la pénétration d'une masse métallique solide par un autre

corps solide, infusible aux plus hautes températures connues, et auquel il faut cependant attribuer la faculté de se dissoudre par le simple contact, sous l'action d'une température modérée.

Si l'on ne s'explique pas le fait, on ne peut toutefois le révoquer en doute; la fluidité du carbone est évidente dans la fonte liquide, elle paraît démontrée dans le fer solide porté au rouge, par les modifications que subit ce métalloïde quand il se transforme en graphite, et quand ce dernier se dissipe dans le métal liquéfié, ou dans la fonte grise solide maintenue pendant un certain temps à l'abri du contact de l'air à une température élevée.

C'est à ce résultat étrange de la pénétration du carbone dans le fer, que M. Jullien a donné le nom de *dissolution*, parce qu'il en présente tous les caractères; cette dénomination se fera sans doute difficilement admettre tant que le phénomène restera inexpliqué. Peut-être eût-il mieux valu assimiler les composés de carbone et de fer à ceux qu'on désigne sous le nom d'alliages, quoique ce terme ne s'applique qu'aux composés que forment les métaux entre eux. Les alliages présentent la plus grande analogie de caractères avec les dissolutions; il n'y a, à proprement parler, de différence que dans le nom et dans l'application; mais, la plupart des chimistes regardent les alliages comme des composés dans lesquels les métaux se *combinent* entre eux en toutes proportions, et dont les propriétés physiques et chimiques peuvent s'écarter beaucoup des lois que présentent les combinaisons des autres corps simples. Il y aurait donc avantage et convenance, pour ne pas trop heurter les idées reçues, à ranger les aciers et les fontes dans la même catégorie; d'autant plus qu'à certains égards, quand le carbone affecte la forme graphiteuse par exemple, on pourrait presque le considérer comme un métal.

Les caractères généraux de l'alliage s'appliquent du reste

parfaitement aux composés de carbone et de fer; ils sont solides; leur densité peut être tantôt plus grande, tantôt plus faible que la densité moyenne de leurs composants; ils sont généralement plus durs, moins ductiles, plus aigres, que les métaux les plus ductiles qui entrent dans leur composition; leurs caractères physiques se rapprochent volontiers de ceux du métal qui prédomine, et ils participent cependant de ceux des autres métaux qui entrent dans leur constitution; la fusibilité est toujours plus grande que celle du composant le plus réfractaire; dans la solidification par un refroidissement lent, il peut y avoir des séparations particelles; enfin, quand l'un des métaux est beaucoup plus facile à oxider que l'autre, on peut arriver à l'isoler en chauffant convenablement, comme quand il s'agit, par exemple, de séparer le plomb de l'argent.

Au surplus, l'alliage n'est pas autre chose qu'une dissolution solidifiée; il ne faut donc que s'habituer au terme, et on en appréciera bien vite toute l'importance.

Quant à l'explication de la trempe, pour la concevoir il faut nécessairement admettre que, lorsque l'acier est porté au rouge cerise, le carbone est devenu liquide; car sans cela on ne pourrait bien comprendre la cristallisation rapide qu'éprouve ce dernier par un refroidissement énergique. Mais nous avons précisément dans les alliages de métaux des exemples qui prouvent que l'un des composants peut être liquide, tandis que l'autre reste solide; on sait, par exemple, que c'est le cas dans le bronze des canons, puisqu'on parvient à en séparer l'étain par suintement à travers la masse poreuse du cuivre solide, en le chauffant seulement à une température supérieure à celle de fusion du métal à éliminer. L'étamage nous présente aussi un exemple frappant de la pénétration d'un métal solide par un métal liquide; ce phénomène présente, quant au résultat, la plus grande analogie avec celui de la cémentation du fer par

le carbone; et on sait qu'on peut même obtenir la pénétration complète et à cœur d'un métal par l'autre, en se plaçant dans des conditions convenables.

Le bronze, contrairement à l'acier, reste mou quand on le trempe rouge dans l'eau froide; cela tient évidemment à ce que l'étain qui est, immédiatement avant la trempe, à l'état liquide dans le cuivre solide, n'a pas le temps de cristalliser avant sa complète solidification, parce que la congélation est venue le surprendre trop tôt; il obéit en cela à la loi qui régit tous les métaux, mais on sait qu'il est cependant très-disposé à cristalliser; il suffit donc de laisser refroidir lentement la masse dans laquelle il n'occupe qu'une proportion relativement faible; et, comme sa température de fusion est plus basse que celle du cuivre, il a tout le temps de se transformer, tandis que le cuivre est resté mou, parce qu'il lui faut beaucoup plus de temps pour cristalliser.

La cristallisation du carbone dans la trempe de l'acier exclut l'idée de combinaison de ce corps avec le fer, mais ce qu'on admettra pour le bronze, on pourra sans doute l'admettre aussi pour l'acier, et l'on peut dire que, si les alliages sont des combinaisons, ils n'ont, en tous cas, aucune fixité, et qu'ils ne détruisent point d'une manière absolue les facultés propres ou privées de leurs composants.

On trouve, d'ailleurs, des exemples trop frappants de la détermination de l'état mou dans la trempe du soufre, et de la cristallisation instantanée dans les larmes bataviques produites par la trempe du verre liquide, pour qu'il soit nécessaire d'insister davantage sur ce point important de la question.

Durant ces derniers temps, M. Frémy a présenté à l'Académie des Sciences divers mémoires qui tendraient à modifier profondément les idées reçues, et qui pourraient fournir de nouveaux éléments pour l'élucubration d'une théorie plus com-

plète et plus positive, si les recherches auxquelles cet éminent chimiste se livre encore, à l'heure qu'il est, viennent confirmer les faits signalés dans ses premières communications.

M. Frémy ne pense pas que le fer, l'acier et la fonte soient liés entre eux par les rapports de composition qu'on admet généralement, et que l'acier soit simplement une combinaison de fer et de carbone moins carburée que celle qui constitue la fonte. Sans vouloir nier d'une manière absolue l'influence que la quantité de carbone exerce sur les propriétés de l'acier et sur celles de la fonte, M. Frémy cherche néanmoins à démontrer que plusieurs autres métalloïdes peuvent en modifier aussi, d'une manière profonde, les caractères; que ces corps ne se trouvent pas d'une manière accidentelle dans ces composés, et que toutes les incertitudes que présente particulièrement la fabrication de l'acier tiennent peut-être à cette action des corps étrangers, qui jusqu'à présent a été peu étudiée.

Relativement à l'azote qui, selon lui, jouerait un rôle considérable dans la question, M. Frémy rappelle qu'il y a plus de trente ans M. Despretz a démontré que, sous l'influence d'une température rouge, le fer décompose le gaz ammoniac, fixe l'azote, devient blanc et cassant, et éprouve une augmentation de poids qui peut aller jusqu'à 11,5 0/0 du poids du métal. Ce corps, soumis à l'action des acides, produit un sel de fer et un composé ammoniacal.

M. Frémy a tenu, avant toute chose, à vérifier l'exactitude de l'expérience précitée, en éliminant toutes les causes d'erreur qui pouvaient provenir de l'impureté du gaz ammoniac et de la présence de l'humidité des gaz; il déclare que tous ses essais sont venus confirmer, de la manière la plus complète, le travail de M. Despretz. Il pense avoir démontré en outre, par des expériences concluantes, que le corps qui se produit dans l'action du gaz ammoniac sur le fer est réellement de l'azoture

de fer et non de l'amidure; il ne contient pas d'hydrogène.

M. Frémy a constaté que l'azote pur et le cyanogène ne donnent que des réactions lentes et incomplètes. Il en conclut que l'azote ne se combine que très-difficilement avec le fer préparé par les procédés ordinaires de l'industrie, mais qu'il peut s'unir avec le métal lorsque ce dernier se trouve à l'état naissant.

Il a produit un azoture de fer identique à celui obtenu par la réaction du gaz ammoniac sur le fer chauffé au rouge, en décomposant le protochlorure de fer par le même gaz.

Cet azoture est facile à réduire en poudre, il est moins oxidable que le fer pur; il est attaqué très-lentement par l'acide azotique, et au contraire avec rapidité par les acides sulfurique et chlorydrique, et produit en se dissolvant des sels de fer et des sels ammoniacaux.

L'azoture de fer s'aimante facilement et d'une manière permanente, à la manière de l'acier; seulement cette propriété paraît moins développée que dans l'acier ordinaire. Il est remarquable par sa fixité, il supporte une chaleur rouge sans se décomposer, l'oxigène ne l'attaque qu'à une température élevée et le transforme en peroxide de fer.

L'azoture de fer chauffé dans une brasque de charbon se transforme en une masse métallique, présentant de l'analogie avec l'acier, et acquérant comme lui une grande dureté par l'action de la trempe; si l'azote est resté dans ce nouveau composé, il ne s'y trouve plus au même état que dans l'azoture de fer, car, lorsqu'on chauffe dans un courant d'hydrogène le produit cémenté, il ne se dégage pas de trace d'ammoniaque.

Suivant M. Frémy, l'azoture de fer contiendrait 9,3 p. 0/0 d'azote; cette composition correspondrait à la formule Fe_5Az. M. Despretz a trouvé une augmentation de poids de 11,3 p. 0/0; l'azoture formé dans ce cas serait représenté par Fe_4Az.

M. Frémy pense, du reste, que le fer peut s'unir à l'azote en plusieurs proportions, et il distingue, de l'azoture proprement dit, le fer azoté qui conserve en partie sa malléabilité, et ressemble à un véritable alliage.

Cette action de l'azote sur le fer, si nettement constatée par les expériences précitées, était de nature à faire penser que ce métalloïde pourrait bien avoir un rôle important dans la cémentation, d'autant plus qu'il est connu que les matières animales employées comme céments agissent avec plus d'énergie que le charbon pur.

Déjà auparavant, M. Caron, en cherchant à se rendre compte du phénomène de la cémentation, avait pensé que la combinaison du fer et du charbon ne pouvait avoir lieu que par l'intermédiaire d'un composé carburé gazeux, qui, pénétrant dans les pores du métal dilatés par la chaleur, y abandonnait son carbone. Pour s'en assurer, il fit passer dans un tube porté au rouge et contenant une barre de fer entourée de charbon concassé, successivement de l'hydrogène, de l'oxide de carbone, de l'azote, de l'air, de l'hydrogène carboné pur, etc,, il n'obtint, après deux heures de feu, aucune cémentation, si ce n'est quelquefois, à de rares endroits, une légère cémentation superficielle, qui, selon lui, pouvait être attribuée à l'impureté du charbon ou du gaz.

Au contraire, lorsqu'il fit passer du gaz ammoniac sec, la cémentation fut rapide et belle sur une profondeur de 2 m/m. Ayant supprimé plus tard le charbon, M. Caron fit emploi de cyanure d'ammonium à l'état de gaz pur et sec, et obtint exactement le même résultat. D'après cela, il crut pouvoir conclure que la cémentation avait été produite par le cyanure d'ammonium qui, en cédant son carbone au fer, donne naissance à l'acier. Il arriva à des résultats à peu près identiques dans des essais de cémentation par les cyanures de potassium, de sodium, barium et stron-

tium, etc. Il fit passer, par exemple, sur le fer, en contact de charbon imbibé d'une dissolution peu concentrée de carbonate de potasse, un courant d'air sec, qui forme du cyanure de potassium sensiblement volatil au rouge, et il obtint une cémentation magnifique et profonde de 2 m/m.

M. Caron en tire cette conclusion que, pour obtenir une cémentation rapide et profonde, il faut favoriser, au milieu du charbon qui entoure le fer, la formation de cyanures alcalins.

M. Frémy, va plus loin, il pense pouvoir démontrer que l'acier n'est point un simple carbure de fer, qu'il existe une série d'aciers résultant de la combinaison du fer avec des métalloïdes, des métaux, et même des corps cyanurés; et enfin, que l'azote n'a pas seulement pour effet de présenter au fer le carbone, sous une forme qui favorise sa pénétration, mais qu'il reste uni à ce dernier, et peut donner lieu à une combinaison complexe avec le métal.

Il n'existe pas, selon lui, d'expérience rigoureuse démontrant que l'acier est une combinaison de carbone pur et de fer; de faibles proportions de corps étrangers, que l'analyse ne constate pas toujours, peuvent modifier les propriétés du fer. On n'a pas tenu compte, dans l'étude des phénomènes de la cémentation et de la fusion de l'acier, de l'influence des gaz qui ont pu pénétrer à travers les appareils, ni de l'action des éléments de l'air qui ne sont pas absorbés par le charbon, ni enfin des substances qui peuvent être contenues dans le charbon lui-même.

M. Frémy rappelle à cette occasion que l'acier, en se dissolvant dans les acides, laisse un résidu qui ne ressemble en rien à du carbone pur, et qui, par ses propriétés et sa composition, se rapproche beaucoup de certains produits cyanurés.

Pour déterminer la constitution véritable de l'acier, et rechercher s'il n'existe pas une série de corps pouvant différer entre eux par leur composition, comme l'acier au tungstène

diffère de l'acier au charbon, mais se rapprochant les uns des autres par certaines propriétés communes, M. Frémy se propose de soumettre le fer à l'action de tous les corps pouvant intervenir dans le phénomène de la cémentation.

Pour le moment, il a reconnu que, lorsqu'on fait passer pendant deux heures à une température rouge du gaz d'éclairage desséché sur du fer, on obtient une carburation très-régulière et on convertit le métal en une fonte grise, graphiteuse, très-malléable et comparable, en tous points, aux plus belles fontes produites par le charbon de bois.

Si au lieu de fer pur on fait réagir le corps carburant sur un fer qui a été préalablement azoté, on voit alors apparaître dans le composé métallique les caractères de l'acier.

Si l'azotation n'a pas été poussée pendant un temps suffisant, le gaz de l'éclairage produit un corps qui est intermédiaire, en quelque sorte, entre la fonte et l'acier. Si, au contraire, le métal a éprouvé préalablement une azotation suffisante, le gaz de l'éclairage donne naissance à un acier d'un grain magnifique.

Lorsqu'au lieu de faire réagir successivement sur le métal l'azote et le carbone, on fait arriver sur le fer chauffé au rouge un mélange de gaz ammoniac et de gaz d'éclairage, on opère alors immédiatement une aciération qui varie avec les proportions relatives des deux gaz.

Il restait à rechercher si l'azote, qui lui paraît être un agent évident de cémentation, reste dans le composé métallique, ou s'il n'est destiné qu'à présenter au fer le carbone, dans un état favorable à la combinaison chimique. En chauffant dans l'hydrogène pur et sec l'acier produit, il a dégagé des quantités considérables de gaz ammoniac Des aciers du commerce de Jackson, de Huntsmann et de Krupp, ont donné aussi, dans les mêmes circonstances, des quantités très-notables de ce gaz.

M. Frémy conclut, de tout ce qui précède, que l'acier, tel

que nous le connaissons dans les arts, n'est pas un carbure simple, mais un *azoto-carbure de fer.*

Il se propose du reste de poursuivre ses recherches et de les étendre, comme il l'a indiqué, aux autres substances qui peuvent se rencontrer dans les opérations métallurgiques.

Si l'on résume ici les faits saillants contenus dans les communications de M. Frémy, on trouve :

1° Que l'azote se combinerait avec le fer en toutes proportions, jusqu'à un maximum correspondant à une formule régulière, et que, lorsque les proportions en sont faibles, le fer simplement azoté prend l'aspect du fer brûlé, conserve en partie sa malléabilité et ressemble à un *véritable alliage;*

2° Que l'union du carbone et du fer constituerait simplement de la fonte, et que l'intervention de l'azote serait absolument nécessaire pour constituer le composé à l'état d'acier.

Nous ferons observer, à l'égard du premier point, que rien ne prouve que les composés d'azote et de fer soient réellement des combinaisons, et qu'ils présentent au contraire tous les caractères, qu'à propos des composés de carbone et de fer M. Jullien attribue aux dissolutions. Les proportions d'azote de 9,5 et 9,8 p. 0/0, que M. Frémy a trouvées dans les produits qu'il désigne sous le nom d'azotures, diffèrent des maximum trouvés par d'autres chimistes; M. Despretz et M. Regnault, entre autres, annoncent 11,5 et 12 à 13 p. 0/0.

Au surplus, M. Frémy assimile, lui-même, les fers simplement azotés à de véritables alliages; il se pourrait donc fort bien que les maximum trouvés ne fussent que des maximum de saturation proportionnels aux températures auxquelles ont été opérées les réactions.

En outre, il a été constaté que, dans certaines circonstances, le fer, soumis à l'action du gaz ammoniac, n'augmente pas de poids, et n'est modifié que dans ses propriétés physiques. Gay-

Lussac donnait à ce phénomène le nom d'action de présence, et Berzelius l'appelait phénomène catalytique; il ne s'accomplit que par une sorte de déplacement ou de désagrégation des molécules du fer; sans doute la pénétration avait eu lieu, mais une cause quelconque avait dû immédiatement faire disparaître l'azote en laissant au métal sa porosité.

Quant au second point, une chose nous frappe, c'est qu'on ne paraît pas toujours attacher aux caractères distinctifs de l'acier toute l'importance qu'on leur accorde dans l'industrie, et nous en sommes à nous demander, si ce qu'on définit généralement sous le nom d'acier est bien conforme à ce que cela doit être; sans nul doute, pour quiconque ne voit dans ce produit qu'un alliage plus ou moins dur, caractérisé d'ailleurs par un grain magnifique, les expériences rapportées pourront paraître concluantes; mais il y a loin de là aux qualités qu'il est si essentiel de rencontrer dans l'acier. Nous avons défini, en commençant cette note, ce qu'on doit entendre industriellement par acier, nous n'y reviendrons donc pas; mais nous demanderons si l'on entend dire que l'intervention de l'azote est nécessaire pour donner au produit le corps, la faculté de durcir à la trempe et la persistance aciéreuse, c'est-à-dire pour fixer d'une manière invariable le carbone dans le fer, ou pour produire spécialement par lui-même des effets analogues à ceux que détermine le carbone dans tous les produits carburés. Il est hors de doute qu'on peut aciérer tous les fers, même les plus mauvais; qu'on peut leur donner l'apparence d'un grain magnifique, et leur communiquer la plupart des propriétés générales dont jouit le type. Mais ce qu'on ne peut donner à tous les aciers, c'est ce qu'on appelle vulgairement le corps et la persistance aciéreuse. On savait déjà que la présence de certains métalloïdes est très-nuisible; que le soufre les rend rouverins, que le phosphore les rend cassants à froid, et tend à chasser le carbone, d'où il suit qu'ils se dénatu-

rent facilement sous l'influence des chaudes; qu'enfin le silicium et en général toutes espèces d'impuretés les rendent fragiles, ce qui leur ôte toute valeur. On savait que, pour produire de bons aciers, il fallait employer des fers très-purs, que les fers impurs, à teneur égale en carbone, donnaient des résultats analogues à ce qu'on peut obtenir de certaines fontes, qui ne paraissent inférieures qu'à raison des impuretés qu'elles contiennent toujours, et qui sont la conséquence naturelle de leur mode de production. Mais on ne savait pas que l'azote fût l'agent indispensable pour constituer le produit carburé à l'état d'acier; et l'on se demande encore, à l'heure qu'il est, comment et en quoi ce corps exerce son action, quelles propriétés bien définies il communique au fer carburé. Enfin est-il bien prouvé que son intervention soit indispensable, et constitue réellement un composé nouveau qu'on puisse appeler en toute sécurité un azoto-carbure de fer?

A cet égard nous ne pouvons nous empêcher de faire remarquer que les travaux mêmes de M. Frémy présentent des contradictions au sujet desquelles il serait intéressant qu'il s'expliquât.

Il nous dit en effet que l'azoture de fer chauffé dans une brasque de charbon devient acier et acquiert une grande dureté par l'action de la trempe; si l'on chauffe plus tard cet acier dans un courant d'hydrogène *il ne se dégage pas* d'ammoniaque; il en conclut que si l'azote est resté dans ce nouveau composé, il ne s'y trouve plus au même état que dans l'azoture de fer. Cependant, pour vérifier si l'acier qu'il obtient au moyen de l'ammoniaque et du gaz d'éclairage contient de l'azote, il soumet ce produit à la même expérience, et il se dégage pendant toute la durée de la réaction des quantités *considérables* d'ammoniaque.

La même vérification reproduite sur des aciers du commerce donne aussi des quantités *très-notables* de ce gaz.

Faut-il conclure delà qu'il y ait eu combinaison dans le premier cas ou expulsion de l'azote par la cémentation dans la brasque ?

Faut-il conclure que dans les autres expériences l'hydrogène n'ait expulsé qu'un excès d'azote libre, resté en dissolution dans le métal ?

Marchand et d'autres expérimentateurs ont obtenu dans des circonstances analogues des résultats négatifs. Ces divergences font au moins regretter qu'il n'y ait pas eu de constatations quantitatives, car ce serait le seul moyen de fixer la question.

Lorsqu'un objet ou une barre d'acier ont été soumis pendant trop longtemps, au contact de l'air, à l'action d'une chaude un peu intense, le métal s'altère d'une manière fort sensible, son grain devient brillant, éclatant et grossier, il durcit mal à la trempe; le grain, dans ce dernier cas, reste gros et brillant au lieu de devenir mat et serré; enfin, il perd son corps, et accuse, en général, les défauts qu'on peut reprocher aux aciers impurs. Cet accident bien connu des ouvriers est qualifié par eux en disant que l'acier est brûlé. Il est évident qu'il ne peut être attribué qu'à la pénétration de l'un des deux gaz de l'air ou de l'air lui-même, car il ne se produit jamais lorsqu'on chauffe à l'abri de son contact ou lorsqu'on a soin de protéger la chaude au moyen d'un fondant qui recouvre le métal. Il y a peu de probabilité que ce soit l'air ou l'oxigène qui pénètrent ; car ce dernier se trouverait en présence du carbone qui lui barrerait le chemin, et le transformerait immédiatement en oxide de carbone qui brûlerait à la surface avant de pouvoir s'introduire dans la masse ; ce ne peut donc être que l'azote, nous l'avons du moins toujours pensé ainsi; et nous devons faire remarquer ici qu'il ne communique à l'acier que de mauvaises qualités puisqu'il le détériore au point de le rendre tout à fait impropre au travail auquel il était destiné. Si l'objet est volumineux il

suffit de le recuire pendant quelques heures en vase clos ou dans du poussier de charbon de bois. Si l'objet est petit ou mince, s'il s'agit d'un burin, par exemple, il suffit de le chauffer de nouveau au rouge cerise, et de le plonger pendant quelques instants dans un ciment liquide composé par exemple de suif, d'huile de poisson et de résine, pour le faire revenir complétement et lui redonner sa première qualité ; les ouvriers prétendent même que l'outil en devient meilleur qu'il n'était avant l'accident. Il se peut que, dans cette opération de correction, la légère cémentation qui se produit au contact du ciment liquide ait pour effet de chasser l'azote, ou d'en neutraliser l'effet par la formation d'un composé de carbone et d'azote, mais il en ressort ce fait, c'est que l'azote ne se combinait pas auparavant avec le carbone de l'acier, soit que ce carbone fût déjà saturé d'azote soit qu'il fût déjà dans le fer dans un état qui ne lui permit pas de se combiner au nouvel arrivant.

S'il y a réellement pénétration du gaz, cette circonstance prouverait que les aciers peuvent contenir accidentellement de l'azote libre, et qu'il doit être même assez difficile d'empêcher que, dans leur préparation, pendant qu'on les travaille au feu, ils n'en absorbent de petites quantités ; elle prouverait aussi que l'azote libre contenu dans l'acier, comme celui qui est contenu dans le fer azoté, altère la qualité du métal, le désagrége et le rend cassant ou fragile.

On n'aurait donc pas à s'étonner que l'analyse des aciers du commerce ait pu accuser la présence de petites quantités d'azote.

L'expérience apprend aussi qu'on peut corriger dans certains cas les aciers brûlés par de nouvelles chaudes suivies d'un bon forgeage ; ce qui semblerait indiquer qu'il suffirait de comprimer le métal pour en exprimer le gaz ; les ouvriers habiles ont soin de battre l'acier en parant longtemps les pièces soumises à la forge, ils pensent ainsi lui donner plus de corps.

Nous devons dire aussi que la même apparence et les mêmes conséquences se manifestent quand on trempe l'acier trop chaud; y aurait-il dans ce cas décomposition de l'azoto-carbure sous l'influence d'une température élevée? Ou cet accident ne tient-il qu'à une modification moléculaire, à un commencement de cristallisation du fer? C'est ce que nous ne saurions expliquer; nous nous bornerons donc à le signaler en passant.

Nous voulons examiner maintenant si l'intervention de l'azote est absolument nécessaire pour fixer le carbone dans le fer. M. Frémy nous apprend qu'il a obtenu un composé fortement carburé en faisant passer, sur un morceau de fer rouge, du gaz d'éclairage; la cémentation s'est dans ce cas opérée très-rapidement sans l'intervention du gaz ammoniac; dans les mêmes circonstances, mais avec l'hydrogène carboné pur, M. Caron n'a obtenu que peu ou pas d'effet.

Si l'on considère qu'à cette température le gaz de l'éclairage contient du carbone libre en suspension on peut s'expliquer la différence des résultats par le principe de la dissolution préconisé par M. Jullien. On conçoit en effet que le fer ne décompose pas au profit d'une simple dissolution l'hydrogène carboné pur qui est une combinaison, et qu'il puisse s'emparer au contraire du carbone libre contenu dans le gaz de l'éclairage; la rapidité de la cémentation peut s'expliquer d'ailleurs par ce fait, que ce carbone libre étant dans un état de division très-grand, il peut plus facilement pénétrer dans le métal que s'il était en grains ou en morceaux.

Voilà donc un cas bien constaté de carburation sans l'intervention de l'azote. Nous ajouterons qu'on transforme le fer en acier, en plongeant un fil de fer pendant quelques instants dans un bain de fonte liquide, ou en cémentant un barreau dans de la limaille de fonte; à moins d'admettre que les fontes ou les fers contiennent aussi bien de l'azote que l'acier, il ne peut y

avoir non plus dans ces cas intervention de ce corps. On peut aussi transformer de l'acier très-dur en fonte grise en l'exposant à une chaleur très-intense, en le maintenant à l'état liquide pendant quelque temps, et en prolongeant la durée de sa congélation. Une fonte grise, grillée pendant un certain temps hors du contact de l'air, devient très-dure par la trempe, et devient très-douce, après un refroidissement lent ; le grillage prolongé n'a pas eu d'autre effet que de cémenter la fonte au moyen du graphite intercalé, et de la rapprocher par conséquent de la constitution de l'acier.

Enfin nous rappellerons ici l'expérience de Clouet, qui, ayant enfermé un diamant dans l'intérieur d'une masse de fer très-pur, sans laisser aucun vide entre le contenant et le contenu, retira après un certain temps de feu un culot d'acier fondu dans lequel le diamant avait tenu lieu de charbon.

Quoique, dans les méthodes ordinaires de production de l'acier, on cherche par tous les moyens possibles à empêcher la pénétration de l'air à l'intérieur des appareils; et que, lorsqu'elle a lieu accidentellement, elle se manifeste toujours par une altération à laquelle on s'empresse de remédier, on ne peut, cependant, prétendre d'une manière absolue que l'azote ne puisse avoir aucun accès auprès du métal ; les charbons peuvent en contenir, il n'est pas impossible que les fers en renferment, dans certains cas, de faibles quantités ; enfin, les appareils ne sont jamais assez hermétiquement clos pour que de petites quantités d'air ne puissent y pénétrer. Mais si l'azoto-carbure est un produit défini, on peut se rendre compte des quantités d'azote qu'il doit retenir, et calculer, par conséquent, le volume de gaz correspondant. C'est ce qu'a fait M. Jullien dans l'exemple qu'il cite à l'encontre de la théorie de M. Frémy.

Qu'on prenne, dit-il, un creuset à fondre l'acier et qu'on y introduise :

20 kil. fer en morceaux,
400 grammes, charbon de bois en grains,
200 grammes, manganèse en poudre,

le creuset se trouve plein, et dès qu'on le met au feu, après l'avoir soigneusement fermé, le manganèse commence par dégager environ 25 grammes d'oxigène qui absorbent 19 grammes de carbone et forment 44 grammes d'oxide de carbone qui se dégage et entraine avec lui le peu d'azote que peut contenir le creuset.

Quand le métal est fondu, tout le carbone introduit s'y trouve à l'état de dissolution; et, quand on découvre le creuset pour couler, il se dégage de ce dernier une bouffée de flamme bleue d'oxide de carbone, qui prouve que le milieu dans lequel le métal se trouve à ce moment n'est pas de l'azote.

Or si, comme le pense M. Frémy, le carbone s'est dissous dans le métal à l'état de cyanogène, il a dû absorber, pour 380 grammes de charbon qui ont pénétré dans le fer, 440 grammes d'azote, soit *trois cents litres* de ce gaz.

On se demande tout naturellement, comment on pourrait admettre qu'une pareille masse, qui correspond à un volume encore plus considérable d'air brûlé, aurait pu s'introduire à travers la masse vitrifiée et par conséquent nullement poreuse du creuset, et comment l'oxigène, que doit contenir encore cet air incomplétement brûlé, n'aurait pas continué à consumer le charbon, au détriment de la quantité absorbée par le métal. Cependant le produit obtenu est bien de l'acier fondu, dont la composition correspond à la quantité de carbone indiquée, et il s'en fabrique journellement des quantités considérables par cette méthode.

En disant que, dans la réaction du gaz de l'éclairage sur le fer, l'acier ne prend jamais naissance, que l'aciération ne se manifeste que lorsqu'on fait réagir l'azote, et que c'est la pro-

portion d'azote qui détermine le degré d'aciération, M. Frémy doit conclure que la fonte n'est pas un produit azoté, et qu'il doit suffire de lui fournir de l'azote pour la constituer à l'état d'acier.

Or, si l'on se reporte à la fabrication de l'acier par le procédé Bessemer, par la méthode Rivoise, par l'affinage au feu soufflé et au four à puddler, on comprendrait, jusqu'à un certain point, qu'en même temps que l'oxigène réduit l'excès de carbone, l'azote de l'air pût fixer ce qu'en retient le métal, parce qu'ici l'air arrive en grande abondance et peut fournir l'élément nécessaire. Mais il existe d'autres méthodes qui, sans être manufacturières, n'en donnent pas moins des résultats assez positifs, quand les matières employées sont convenables.

Ainsi, on peut produire de l'acier en cémentant de très-bonnes fontes dans les oxides métalliques; dans ce cas, toute l'opération consiste à enlever du carbone, il est peu probable que l'air ou l'azote puissent pénétrer à travers les caisses en tôle et la couche d'oxide, pour venir jouer un rôle dans la constitution du produit; et il est très-certain que, quand l'air pénètre accidentellement, il dérange toute l'opération.

On ne peut donc dire, d'une manière générale, que l'intervention de l'azote soit absolument nécessaire.

Nous doutons même très-fort qu'il puisse y avoir à cet égard la moindre distinction à établir entre les aciers et les fontes, car ces dernières sont aussi bien en présence de l'air et de l'azote par conséquent, dans leur production au haut-fourneau. Ne sait-on pas, d'ailleurs, que dans leur transformation progressive les minerais passent successivement de l'état d'oxide à l'état de fer et d'acier spongieux, puis à l'état d'acier fondu et de fonte; l'état d'acier existe dans les régions du ventre et des étalages, la conversion en fonte ne se fait que dans l'ouvrage, c'est-à-dire dans la partie du fourneau où l'on

peut le moins concevoir une action désazotante, puisque la fonte qui vient de se former s'y trouve dans un milieu d'acide carbonique et d'azote, et qu'elle continue cependant à absorber du carbone. Qu'on ne perde pas de vue non plus que, dans la fusion directe au creuset, on produit de la fonte au lieu d'acier, si l'on force suffisamment la proportion de charbon végétal qui entre dans la composition de la charge.

Comment alors expliquerait-on l'élimination de l'azote, si l'on admet que les fontes ont dû nécessairement passer préalablement par l'état d'acier avant d'être définitivement constituées. Si l'azote avait réellement le rôle qu'on lui attribue, on pourrait au contraire établir comme certain qu'il reste dans la fonte, car cette dernière durcit et prend la trempe comme l'acier; elle n'en diffère qu'en ce qu'elle est trop fusible ou trop carburée pour pouvoir se forger et se souder, en ce qu'une partie de son carbone est à l'état de graphite intercalé, et en ce qu'étant impure elle ne peut rendre les mêmes services, en raison de sa fragilité.

Il nous paraît donc difficile d'admettre, jusqu'à meilleure preuve, la distinction que M. Frémy établit entre les deux classes de composés. Nous ne pensons pas non plus que les fers connus dans l'industrie sous le nom de fers brûlés puissent être assimilés aux fers azotés, car ces fers dits brûlés ne donnent jamais trace de carbone à l'analyse, et on les fait parfaitement revenir en les recuisant dans du poussier de charbon de bois, sans qu'ils absorbent du carbone tant qu'ils contiennent le principe de leur altération. Si ce principe était l'azote il est évident qu'ils devraient être avides de carbone.

Les fers ne se brûlent plus du moment qu'ils sont légèrement aciéreux; tout cela amène naturellement à penser que c'est l'oxigène, et non pas l'azote, qui produit cet effet pernicieux auquel le fer est d'autant plus sensible qu'il est plus pur.

Nous n'entendons du reste nullement nous prononcer d'une manière absolue à cet égard, ni prétendre que l'azote ne puisse, dans certains cas, produire des effets analogues, puisque nous les avons nous-mêmes signalés dans l'acier.

Nous ne nierons pas non plus que ce corps ne puisse agir d'une façon avantageuse dans la cémentation, mais nous ne voyons pas encore de raisons suffisantes pour établir qu'il soit l'agent indispensable sans lequel l'acier ne saurait exister.

Que les matières animales employées comme céments agissent avec plus de promptitude et d'énergie que ne le fait le charbon ordinaire, cela est incontestable; l'accélération que l'ammoniac communique à la cémentation est non moins certaine, ce fait est d'ailleurs connu depuis fort longtemps des praticiens; Réaumur recommande, pour la trempe en paquet, d'entourer le fer de sel ammoniac et de mélanger au cément pourri dans l'urine, de la potasse, du sel de nitre, du sel marin, etc., etc.

Mais, est-il bien certain qu'il y ait formation d'un azoto-carbure?

M. Jullien explique la pénétration plus rapide du carbone dans le fer, quand on emploie les matières animales, les huiles, la suie, le gaz de l'éclairage, etc., etc., par cette raison, qui s'applique généralement à tous les cas, que, dans ces matières, l'élément charbon se trouve à l'état de dissolution, ou à un état d'extrême division qui le rend éminemment propre à passer avec facilité dans le fer. Cependant nous devons objecter à cette explication, que les huiles végétales sont bien loin d'offrir à cet égard les mêmes avantages; et qu'on ne parvient à les faire agir efficacement qu'avec le concours de substances ammoniacales, sans lesquelles elles sont presque sans influence, ou n'opèrent qu'avec une excessive lenteur. Toutes les présomptions semblent donc, dans ces cas exceptionnels, démontrer une in-

tervention utile, et les travaux de M. Frémy ne nous paraissent laisser aucun doute sur la possibilité de cette intervention. Mais est-elle générale et s'exerce-t-elle par une action de combinaison chimique? C'est là ce qui ne nous semble pas être suffisamment prouvé.

On s'expliquait autrefois l'action des sels, en général, et de l'ammoniaque en particulier, par une sorte de décapage ou désagrégation superficielle qui rendait le métal poreux et le prédisposait à se laisser plus facilement pénétrer par le carbone.

Il est démontré que l'azote peut agir de la même manière, puisque, poussée à l'extrême, l'azotation du fer finit par rendre ce métal pulvérulent.

Au surplus, la chaleur paraît procéder un peu dans le même ordre d'idées; on sait que la cémentation, qui est si lente dans les caisses, se fait en trois ou quatre heures quand on fond directement du fer avec addition de charbon dans un creuset; et, bien certainement, l'absorption se ferait en quelques minutes, si l'on pouvait préalablement amener le fer à l'état de fusion avant l'introduction du charbon.

Or, la chaleur dilate, désagrége, ouvre les pores, et c'est surtout à cette action qu'il faut attribuer l'énergie qu'elle communique au pouvoir dissolvant des corps.

Au reste, la désagrégation par l'action d'une substance qui a pu séjourner temporairement dans le fer, puis disparaître par une intervention quelconque ou par substitution du carbone, n'a rien que la raison ne puisse admettre; elle n'est pas non plus, avec celle produite par la chaleur, la seule action physique qui puisse exercer une influence favorable dans la cémentation.

L'un de nos collègues, M. Limet, a fait, il y a quelques années, diverses expériences dont le but était de rechercher de meil-

leurs moyens pour l'aciération directe des objets façonnés en fer. Il avait reconnu que, dans la trempe en paquet telle qu'elle se pratique dans nos ateliers, les matières employées comme cémente ne sont que très-imparfaitement utilisées, par suite de la distillation anticipée qu'elles subissent avant que le fer ait pu être amené à une température convenable. Certains indices lui avaient fait, en outre, supposer que la pression des gaz produits par la distillation pourrait bien exercer une influence utile. Il fit, en conséquence, disposer un appareil spécial dans les conditions suivantes : Une cloche en fer, plongeant dans un bain métallique maintenu au rouge, recevait les pièces à cémenter et communiquait par un tube en forme de siphon avec un récipient ou une cornue, contenant le cément. Lorsqu'on jugeait que les objets placés sous la cloche immergée avaient eu le temps de s'échauffer suffisamment, on y faisait arriver les gaz carburés provenant de la distillation du cément dans la cornue, ils s'y maintenaient sous une pression élevée en raison de la hauteur du bain liquide, et ils agissaient immédiatement sur le fer porté au rouge.

A l'aide d'une pression correspondant à une colonne de plomb fondu de 1m,20 environ ; soit par conséquent, plus d'une atmosphère, et une température du bain métallique à peu près égale à celle de fusion du cuivre rouge, M. Limet obtint, en moins de trois heures, une cémentation complète et à cœur sur des barreaux ayant 15,30 m/m de section ; tandis qu'en opérant sans le secours de la pression il n'obtenait, en plus de 30 heures, que des résultats comparativement très-inférieurs. Il put fabriquer par ce moyen un assez grand nombre de limes qui furent cémentées après avoir été préalablement forgées, et furent ensuite trempées et recuites par les procédés ordinaires, sans qu'il fût nécessaire de recourir de nouveau à la forge pour resserrer le grain. Ces limes furent excellentes à

l'usage, la cassure présentait, après la trempe, toutes les apparences d'une parfaite homogénéité, et avait la plus grande analogie avec celle de l'acier fondu.

Une chose très-importante, que put en outre constater M. Limet, c'est qu'en prolongeant, pour ainsi dire indéfiniment, la durée de la cémentation on n'obtenait qu'exactement le même résultat qu'en trois heures, temps du chauffage compris; ce qui semblerait, si ce fait se vérifie d'une manière générale, être une nouvelle consécration du principe de la dissolution de M. Jullien; car il est clair qu'une fois saturé au maximum correspondant à la température et à la pression sous lesquelles l'opération s'était effectuée, le métal ne pouvait se charger d'une saturation supplémentaire, qu'à la condition d'une surélévation de la température ou de la pression.

M. Limet avait été amené, par ses expériences mêmes, à envisager le cyanogène qu'il pensait produire dans ses distillations, comme étant le véhicule le plus énergique du carbone dans la cémentation; il s'arrangeait en conséquence dans la composition de ses cémente. Cependant, nous avons tout lieu de penser que les conditions étaient peu différentes de celles de la cémentation en paquet ordinaire, sauf toutefois dans ce qui a rapport à la meilleure utilisation des cémente, et à la pression des gaz résultant de leur distillation en vase clos; il est donc probable que le rôle de l'azote a dû être sensiblement le même dans les deux circonstances, et qu'il a pu prédisposer le fer à recevoir la carburation. Mais l'intéressante expérience de M. Limet, qui, malheureusement, paraît d'une réalisation pratique assez difficile, surtout au point de vue économique, nous apprend, comme nouveau principe à ajouter à la somme des connaissances acquises, que la cémentation peut être puissamment secondée par le secours d'une pression artificielle.

Si l'on rapproche cette influence si remarquable de la pres-

sion, de celle que produit la désagrégation par l'azotation ou par la chaleur, cela ne semble-t-il pas démontrer que les actions purement physiques ont dans la cémentation le rôle véritablement important, et qu'il suffit, pour ainsi dire, de rechercher les conditions qui facilitent le mieux la pénétration du carbone dans le fer, pour résoudre le problème de l'aciération rapide ou instantanée.

En résumé, nous ne voyons rien jusqu'à présent dans les travaux de M. Frémy, qui soit de nature à infirmer les nouveaux principes théoriques que M. Jullien cherche à introduire dans la métallurgie. Nous croyons qu'il serait du plus haut intérêt que ces principes fussent sérieusement examinés et discutés, parce qu'ils nous paraissent fournir de précieux moyens pour l'étude des phénomènes généraux et pour guider les praticiens dans leurs recherches expérimentales. Ces principes ne complètent pas cependant tout ce qu'il serait désirable de connaître pour pénétrer plus avant dans les mystères de la métallurgie ; mais il suffit à nos yeux qu'ils expliquent un plus grand nombre de faits, pour justifier la préférence à leur accorder, et pour qu'il soit utile d'en conseiller l'adoption aux personnes qui, en dehors des questions purement scientifiques, ont un intérêt réel à s'éclairer.

Les travaux de M. Frémy ont fait ressortir, d'une manière plus complète que cela n'avait été fait jusqu'ici, le rôle que paraît jouer l'azote dans les composés de carbone et de fer. Mais nous ne voyons pas encore, d'une façon nette et irréfutable, de quelle nature bien déterminée est l'intervention de ce corps, si elle est générale, ou si elle n'est qu'accidentelle. Nous ne pouvons comprendre le rôle exceptionnel qu'on lui attribue dans la formation de l'acier, en tant que combinaison, parce que nous ne voyons, ni sous le rapport de la composition, ni sous celui des propriétés, la justification des distinc-

tions caractéristiques de ce produit. Enfin, nous nous demandons si la question est assez avancée, ou assez claire, pour qu'on puisse y trouver des éléments utiles pour des applications industrielles.

Depuis que cette première partie de notre travail est sous presse, nous avons eu connaissance d'une nouvelle publication de M. Frémy, qui a paru dans le *Moniteur* et dans le Journal l'*Institut* du 3 avril. Cette dernière communication complète ce qui a rapport au rôle de l'azote dans la constitution de l'acier; M. Frémy cherche à prouver que l'acier cesse d'exister dès qu'on lui enlève son azote, et que toutes les observations tirées de la pratique confirment les idées qu'il a précédemment émises.

En soumettant une lame d'acier portée au rouge à l'action de l'hydrogène pendant trois heures, le métal s'est transformé en fer très-doux, qui ne durcit plus à la trempe, et a éprouvé une perte de poids de 1 p. 0/0 environ. Dans les mêmes circonstances, l'acide carbonique dénature également l'acier et laisse pour résidu un fer azoté. Nous ne voyons, quant à nous, dans ces deux expériences, que le départ du carbone, sans lequel non plus, l'acier ne saurait exister; pour qu'elles fussent concluantes, il faudrait trouver le moyen d'enlever l'azote sans toucher au carbone, et s'assurer qu'après l'élimination le métal ne durcit plus à la trempe, ne se laisse plus forger, et ne peut plus supporter le feu sans se dépouiller.

Revenant ensuite aux observations tirées de la pratique, M. Frémy s'attache à démontrer que dans la cémentation le fer peut emprunter l'azote, non seulement aux gaz qui pénètrent et circulent dans les caisses, mais encore au charbon qui s'y trouve. Quant à la pénétration de l'air, cette opinion s'appuie sur l'autorité des observations de M. Boussingault et sur le travail de M. Saunderson, mais on ne nous dit point

dans quelles proportions cette pénétration, dont on cherche dans la pratique des aciéries à se préserver la plus possible parce qu'on la considère comme essentiellement nuisible, peut fournir l'azote nécessaire. M. Frémy n'indique point non plus la proportion que peut en contenir le charbon des caisses de cémentation, qu'il a reconnu être toujours azoté. Nous nous retrouvons donc, pour ce point important de la question, sur le terrain des conjectures, et nous ne craignons pas d'avancer à notre tour que, si la proportion d'azote contenue dans le charbon des caisses peut représenter un chiffre de quelque importance, à raison du volume de charbon employé, elle doit être, par contre, tout à fait insignifiante dans les 200 à 400 grammes de charbon qui entrent dans la composition des charges dans la fabrication de l'acier fondu par fusion directe en creusets du mélange de fer et charbon. Enfin, il est certain qu'on peut remplacer dans les deux cas le charbon de bois par le graphite naturel, qui selon toutes probabilités ne contient pas d'azote et est cependant considéré, dans les localités où on peut se le procurer dans des conditions convenables, comme un excellent agent d'aciération.

Nous ne saurions donc voir, dans les dernières indications de M. Frémy, une preuve incontestable que l'intervention de l'azote soit absolument nécessaire ; mais nous admettrons volontiers que dans les cémentations à température peu élevée ce corps puisse avoir une influence sensible dans la rapidité de l'opération. Partout donc où, comme dans la trempe en paquet, on fait emploi de matières azotées, on peut attribuer la promptitude avec laquelle la pénétration du carbone a lieu à l'action de l'azote ; et l'on peut en même temps supposer que si, dans les fours à cémenter, l'action est infiniment plus lente, cela peut tenir à ce que la proportion d'azote y est très-faible ; enfin nous convenons qu'on trouverait dans l'épuisement qu'éprouve le

charbon des caisses à cémenter une preuve très-évidente de l'utilité de l'azote, si le charbon, après avoir servi une fois, était reconnu tout à fait impropre, mais on sait qu'il s'emploie de nouveau, qu'on le mélange seulement d'une plus grande proportion de charbons frais; par conséquent on ne peut le considérer comme tout à fait incapable de participer à la cémentation, quoiqu'il ne puisse plus sans doute le faire qu'avec une excessive lenteur.

Quant à la manière dont l'azote agirait sur le fer pour le constituer à l'état d'acier, M. Frémy établit qu'il azote d'abord le métal, puis l'abandonne en partie sous l'influence des gaz hydrocarburés provenant de la distillation du cément; le fer en devient poreux, il se laisse alors pénétrer par le carbone qui constitue, avec la partie de l'azote restée combinée au métal, l'azoto-carbure de fer.

Ainsi, par exemple, l'ammoniaque pénétrant à cœur dans le métal au rouge produit d'abord de l'azoture de fer en dégageant de l'hydrogène, qui rend par son départ le fer poreux; les gaz hydrocarburés décomposent ensuite l'azoture en agissant par leur hydrogène et leur carbone; l'excès d'azote se dégage à l'état d'ammoniaque ou de cyanhydrate d'ammoniaque, ce qui augmente encore la porosité du métal; tandis que le carbone vient s'unir à un reste d'azote, et constituer le composé azoto-carboné qui paraît être l'élément essentiel de l'acier.

Dans l'affinage de la fonte au petit foyer ou au four à puddler, l'aciération serait quelquefois due à l'azote contenu dans les fontes, mais surtout à l'action des composés azotés fournis par le combustible et l'air qui agissent rapidement sur le fer au moment où il commence à prendre nature, c'est-à-dire quand il est rouge, poreux et à l'état naissant.

Ces explications, comme on peut le voir, s'accordent en

partie avec celles que nous avons données en attribuant à l'azote ou à l'ammoniaque le pouvoir de désagréger le fer, comme le fait la chaleur ; elles n'en diffèrent plus que par une faible proportion de l'azote absorbé qui, selon M. Frémy, resterait combinée, tandis que nous ne l'envisageons que comme restant accidentellement dissoute dans le fer.

M. Frémy pense, du reste, expliquer d'une manière satisfaisante par son système la formation des ampoules qui se manifestent dans la cémentation du fer ; formation qu'il serait, selon lui, impossible de justifier par l'ancienne théorie. Ces ampoules seraient produites par les gaz qui résultent de l'action des composés hydrocarburés sur l'azoture de fer. Nous ne pouvons, à cet égard, partager l'opinion de M. Frémy ; la formation des ampoules s'explique parfaitement dans l'ancienne théorie par la réduction de l'oxygène contenu dans les pailles d'oxide accidentellement répandues dans les fers martelés. Les fers très-purs contiennent toujours de ces pailles en plus ou moins grandes quantités ; cela résulte nécessairement des imperfections du procédé de fabrication par affinage au feu d'affinerie. On sait que la loupe cinglée n'est pas complétement épurée, et que les chaudes qu'on lui fait ultérieurement subir ont autant pour but de compléter l'épuration mécanique et chimique que l'étirage. Quoi qu'on fasse, on ne peut parvenir à faire disparaître complétement les pailles d'oxide emprisonnées pendant le ravallage et le cinglage de la loupe ; il en subsiste toujours plus ou moins dans les fers étirés, et quand ceux-ci sont soumis à la cémentation, le carbone les rencontre, se combine avec leur oxygène, produit de l'oxide de carbone qui, étant lui-même emprisonné, forme par sa tension dans le fer ramolli par la chaleur les chambres ou cloches qu'on désigne sous le nom d'ampoules. On trouve la preuve très-nette de cette action dans ce fait, que ce sont précisément

les fers les plus purs chimiquement qui donnent le plus d'ampoules; les fers légèrement carburés n'en donnent pas parce que les pailles d'oxide ne pourraient exister; les cloches se formeraient avant le forgeage, auquel elles ne résisteraient pas. Parmi les fers de Suède les plus purs, ce sont ceux qui ont été le moins bien manipulés qui produisent le plus d'ampoules, et c'est particulièrement parmi les meilleures marques qu'on rencontre le plus régulièrement cet inconvénient, parce que ce sont aussi celles qui sont traitées par les méthodes les moins perfectionnées.

Les fabricants suédois attachent une si grande importance à ne pas compromettre la nature aciéreuse de leurs produits, qu'ils reculent systématiquement devant toutes les innovations modernes, et s'en tiennent, pour plus de sûreté, aux méthodes qu'ils ont toujours employées sans y rien changer, et qu'ils employaient déjà il y a plus de deux cents ans.

Partout, au contraire, où l'on emploie des fers puddlés corroyés bien fabriqués et à grains, ce qui dénote la présence d'une petite proportion de carbone, on n'a presque pas d'ampoules à la cémentation. Ces faits pratiques s'accordent parfaitement à l'explication de la formation des ampoules par l'oxide de carbone, et nullement à celle de la réaction des hydrocarbures sur l'azoture de fer, car, dans ce dernier cas, les ampoules devraient être aussi abondantes dans les fers à grains que dans les fers à nerf, et c'est le contraire qui a lieu.

Quant à l'action des substances étrangères, M. Frémy attribue au silicium, au phosphore et au soufre, des droits de préséance dans leur combinaison avec le fer; il s'est assuré qu'alors l'azotation devient impossible, et par suite l'aciération. Nous n'avons rien à répondre quant aux deux premiers métalloïdes, quoique, cependant, dans certains cas, dans ceux, par exemple, où l'élasticité seule est en jeu, on puisse encore

utilement employer des aciers légèrement siliceux. Mais, quant au soufre, nous dirons qu'il existe des aciers doux, sulfureux, qui présentent à froid une résistance et une malléabilité extraordinaires, et qui s'emploient avec avantage pour les ouvrages tels que les cuirasses, par exemple, où la forme est difficile à réaliser. Les minerais de l'île d'Elbe et ceux de la Savoie donnent des aciers sulfureux qui sont plus ou moins recherchés, mais qui sont cependant assez répandus; particulièrement ceux connus sous le nom d'aciers de Rives.

M. Frémy pense, du reste, que le soufre et le phosphore font blanchir les fontes ; qu'on essayera en vain de donner au fer le carbone en excès, et de le changer en fonte grise, lorsque ces corps resteront en combinaison avec le métal; et que le silicium seul peut exister simultanément avec le carbone dans les fontes grises.

Le manganèse, le nickel, le titane, le tungstène, etc., en se combinant au fer, peuvent d'abord modifier d'une manière utile les propriétés de l'acier, et donner de véritables alliages; mais, les métaux qui paraissent à M. Frémy principalement faciliter l'aciération sont ceux qui, comme le titane et le tungstène, forment, avec l'azote, des composés fixes.

Il résulterait de ces données, que les différents corps qui composent la famille des aciers ont pour base un azoture de carbone ou des azotures métalliques.

Quant à cette dernière classe de composés, nous nous bornerons à faire observer que nous ne doutons pas de la possibilité de produire des alliages; mais nous ne pensons pas qu'on puisse les assimiler à celui qui constitue l'acier, parce que le carbone seul communique au produit la faculté de durcir à la trempe, et de rester doux quand il n'est pas trempé.

Certains alliages peuvent exalter l'une ou l'autre des pro-

priétés de l'acier; l'argent, par exemple, peut augmenter sa tenacité, le tungstène peut augmenter sa dureté, mais c'est toujours aux dépens de la propriété opposée, et ils ne constituent pas l'acier en l'absence du carbone.

L'acier contenant du tungstène perd de son corps; des expériences récentes, faites en Allemagne, ont démontré qu'il ne pouvait convenir pour la préparation des coins destinés à frapper les monnaies, quoiqu'il ait été reconnu qu'il était susceptible d'acquérir une très-grande dureté.

Dans la suite de sa communication, M. Frémy déclare que la qualité de l'acier ne dépend pas de la nature chimique de tel minerai appartenant à quelques localités privilégiées; elle repose uniquement sur la pureté des fers et des fontes que l'on emploie; *les fabricants français pourront donc, en épurant leurs produits, produire des aciers de première marque.* Nous partageons cette opinion en ce qui concerne la pureté; mais nous devons observer qu'il ne s'agit pas seulement de la pureté chimique, mais encore d'une pureté mécanique qu'il est presque impossible de réaliser industriellement avec la plupart des meilleurs minerais. Les excellents minerais à aciers de la Suède présentent, sur tous les autres, cet immense avantage, qu'en même temps qu'ils sont très-purs de matières nuisibles, ils sont doués d'une extrême fusibilité, ce qui dispense de l'emploi de fondants; ils sont préalablement grillés au charbon de bois, le prix des charbons étant très-bas, on ne l'épargne pas; on le lave même à grande eau et avec le plus grand soin, pour en séparer toute espèce de souillures; les soins qu'on donne à l'affinage et au martelage entraînent à des consommations considérables; et l'on arrive à créer des produits très-purs, mais à des prix qui sont déjà fort élevés, malgré le bon marché de la main-d'œuvre, et les conditions particulièrement favorables dans lesquelles on se trouve. De pareilles

conditions ne sont pas aussi facilement réalisables en France; il est probable que si l'on y parvenait à atteindre autant de qualité qu'en Suède, ce ne pourrait être qu'à la condition d'augmenter considérablement les prix de revient des produits, et qu'il y aurait toujours préférence, par conséquent, à s'adresser à la Suède, pour en tirer les fers nécessaires pour la fabrication des aciers d'élite.

La fabrication de l'acier a traversé en France, depuis près de deux siècles, une série de phases qui lui ont été presque constamment fatales. Tous les gouvernements qui se sont succédé depuis le règne de Louis XIV jusqu'à nos jours, jaloux de réserver ce débouché à l'utilisation des matières premières indigènes, sont intervenus dans la question, soit en fournissant aux savants les moyens de l'étudier à fond, et en leur donnant, officiellement, la mission d'éclairer le public sur cette partie de la métallurgie, soit en venant en aide aux fabricants, par des faveurs et des secours d'argent, soit, enfin, en prenant eux-mêmes l'initiative par la création de grands établissements confiés à la direction des hommes, qui, par leurs travaux antérieurs, avaient paru le mieux en état d'en assurer la prospérité.

Pour qui connaît l'histoire des aciéries françaises, il y a ce fâcheux résultat à constater, comme le fait M. Le Play dans un mémoire publié en 1846, « que les mécomptes qu'ont éprouvés, pendant un siècle et demi, toutes les usines à aciers qui se sont établies en France, tiennent essentiellement aux opinions erronées propagées par Réaumur, et entretenues par des expériences officielles, touchant la propension aciéreuse des fers indigènes. Les succès réels qui ont été récemment obtenus en France, c'est-à-dire les seuls qui puissent un jour se maintenir dans les conditions d'une libre concurrence, sont dus à l'adoption pure et simple des moyens d'action sur les-

quels, depuis deux siècles, est fondée la prospérité des aciers anglais, savoir : l'élaboration des fers à aciers du Nord, et particulièrement des meilleures marques de Suède. »

Sans être aussi absolu que M. Le Play, nous croyons néanmoins devoir insister, afin qu'on ne se fasse pas trop d'illusions quant aux espérances que donne M. Frémy sur la possibilité, tant de fois proclamée depuis deux siècles, de remplacer les premières marques de Suède par les fers indigènes.

De toutes les innombrables expériences qui ont été tentées tant en France qu'ailleurs, il est au moins resté ce fait : c'est que, de tous les cémenls employés, le préférable est le charbon pur. C'est aussi à peu près le seul dont on fasse usage aujourd'hui dans les aciéries; et c'est cependant celui de tous qui paraît être le moins azoté.

N'y aurait-il pas là un argument tout à fait contraire à la théorie de M. Frémy? Car on peut le dire, tous les cémenls possibles et toutes les combinaisons des cémenls entre eux ont été successivement essayés un grand nombre de fois et en tous lieux, puis abandonnés et repris; et on est toujours, et définitivement, revenu au charbon pur.

Les matières azotées et les autres moyens énergiques ne sont jamais employés que quand il s'agit d'aciérer superficiellement des objets façonnés en fer; la cause en est facile à apprécier; il y a intérêt à ne soumettre le métal à l'action d'une haute température que le moins longtemps possible, parce que cet état, lorsqu'il est trop prolongé, détermine la cristallisation du fer; ce n'est donc qu'en usant de moyens rapides et énergiques qu'on peut espérer éviter cet inconvénient. A cet égard, les expériences de M. Limet, que nous avons rapportées, pourront mettre sur la voie d'utiles perfectionnements; mais, pour la fabrication économique de l'acier en barres, les cémentations énergiques et promptes ne présentent plus le même degré

d'utilité, et comme il est reconnu que les céments composés ne donnent pas d'aussi bons résultats que les charbons purs, et que les manipulations ultérieures de la forge ôtent toute importance à l'inconvénient de la cristallisation dans les aciers poules, il est tout naturel qu'on préfère les derniers, qui s'obtiennent d'ailleurs à des prix moins élevés.

M. Caron a aussi fait, en même temps que M. Frémy, une nouvelle communication à l'Académie des Sciences, dans laquelle il défend la théorie qui lui est propre, celle qui attribue l'aciération dans les caisses de cémentation, à la présence de l'azote, concurremment avec l'alcali des cendres, ce qui donne lieu à la formation du cyanure de potassium dont on connaît l'énergie comme agent d'aciération.

M. Caron considère que si, comme dans les expériences de cémentation par les hydrogènes carbonés, on donne au fer du charbon libre ou presque libre, on obtient trop facilement la saturation du fer par le carbone, on n'a que de la fonte ; mais, si l'on présente au métal une matière carburée, dont les éléments soient unis entre eux par une énergique affinité que le fer ne puisse vaincre que par un contact prolongé, l'aciération produite à la surface des barreaux n'aura pas dépassé la limite désirable, avant que le fer ne soit cémenté jusqu'au centre; les cyanures seuls cémentent, du moins aux températures employées dans l'industrie, parce que ce sont les seules combinaisons du carbone qui soient indécomposables et volatiles.

Un contact trop prolongé, une température trop élevée, peuvent changer les effets produits, et transformer le fer en fonte, d'autant plus facilement, que les cyanures employés seront plus volatils et plus décomposables; et M. Caron pense, pour cette raison, que la matière aciérante la plus industrielle doit être le cyanure de baryum, parce qu'il est le moins volatil des cyanures.

M. Caron prétend du reste produire l'aciération par d'autres substances carburées ne contenant pas d'azote. Le gaz des marais par exemple, et le gaz d'éclairage qui contient de ce dernier en quantité considérable, produisent directement sur le fer, à la température du rouge franc, une cémentation qui n'est pas aussi rapide, mais qui est aussi belle que celle des cyanures.

Le gaz oléfiant ne cémente pas, parce qu'il est trop facilement décomposable par la chaleur. Le cyanogène peut à la rigueur cémenter, mais moins bien que le gaz des marais.

Les conclusions de M. Caron sont que, pour obtenir la transformation du fer en acier, il faut que l'agent de cémentation puisse apporter le charbon à l'état de combinaison jusque dans les pores du fer où ce métal se l'approprie à l'état naissant. Mais il n'envisage point que l'azote soit nécessaire, et il pense que les cémentations obtenues en dehors de la présence de ce corps doivent fixer l'opinion sur ce point. Il existe, dit-il, suivant M. Nicklès, une série d'analyses de fers, fontes et aciers, qui attestent la présence de l'azote dans ces métaux ; seulement tous n'en renferment pas, et le maximum qu'on ait pu en trouver se monte à 0,0002 (*Annuaire de chimie*, 1857, page 107). Si l'on veut bien se rappeler aussi que M. Marchand, dans ses analyses si scrupuleuses et si délicates, n'a jamais pu trouver que des quantités d'azote, ou nulles, ou réellement négligeables ; que M. Schaffhault, le grand partisan de la présence de l'azote dans les aciers, a été obligé de reconnaître l'exactitude des observations de Marchand, on arrivera naturellement à la même conclusion que le célèbre chimiste allemand : « S'il y a de l'azote, il appartient nécessairement à des matières mélangées au fer, matières qui ne font pas plus partie intégrante du métal que les scories qu'on y trouve mêlées. »

Au surplus, M. Caron fait remarquer qu'il n'est pas possible de supposer qu'il puisse se former de l'azoture de fer dans les opérations industrielles, parce qu'il n'y a pas d'ammoniaque dans les caisses de cémentation, et y en eût-il, il serait immédiatement décomposé. L'azote libre ne se combine pas avec le fer; mais au contact du charbon et des cendres il donne le cyanure de potassium qui, selon M. Caron, serait le véritable agent de la cémentation.

Nous pourrions faire à cette théorie les mêmes objections que nous avons faites à celle de M. Frémy, mais du moment que M. Caron admet la possibilité d'une cémentation sans l'intervention obligée de l'azote, tous les cas que nous pourrions citer, et ce serait le plus grand nombre, seraient pour lui des exceptions. L'idée des cyanures est séduisante, parce qu'en effet ces corps sont des agents d'aciération très-puissants; mais elle ne pourrait s'appliquer qu'au seul cas particulier de la cémentation du fer au contact du charbon; il resterait toujours à démontrer que l'azote peut exister ou pénétrer en suffisante quantité pour produire le résultat voulu, et c'est un point sur lequel il est permis d'élever les doutes les plus légitimes. En tous cas, le produit définitif serait un composé de fer et de carbone dans lequel ce dernier corps aurait été apporté au travers des pores du métal par un composé gazeux qui l'aurait cédé à l'état naissant; mais cela supposerait aussi que le produit final serait un vrai carbure, c'est-à-dire une combinaison de carbone et de fer à proportions définies, disons dans la masse du fer; et nous rentrerions dans toutes les obscurités de l'ancienne théorie quant à l'explication des autres phénomènes de la métallurgie.

La cémentation du fer par le gaz de l'éclairage, que M. Caron lui-même attribue au carbone tenu en suspension, prouve qu'il n'est pas nécessaire que ce corps se présente à l'état

naissant. Le gaz des marais, le cyanogène et les cyanures sont peut-être dans le même cas.

Pour compléter, autant qu'il nous est possible, les renseignements qui peuvent être utiles dans l'étude des théories de l'acier, nous croyons devoir donner ici le résumé de quelques notes relevées au cours de chimie professé à l'université de Giessen par M. de Liebig, et dont nous devons nous-mêmes la communication à l'obligeance de M. Frédéric Weil, ingénieur chimiste, membre de notre Société.

On obtient, par la calcination du cyanure de mercure dans une cornue, un résidu fixe de couleur noire brunâtre qui ne brûle au contact de l'air qu'à une température élevée. M. Johnston a démontré par l'analyse que ce résidu, qu'on avait cru n'être autre chose que du charbon provenant de la décomposition du cyanogène, renferme les éléments du cyanogène dans les mêmes proportions que le cyanogène lui-même, ce qui constitue une modification qu'il appelle le paracyanogène, matière fixe, de couleur brune-noirâtre, composée de carbone et d'azote, C_4Az.

On peut le préparer de diverses manières avec différentes substances cyanogénées; sa préparation avec du cyanure d'argent présente le plus d'intérêt. Une dissolution d'argent mise en contact avec de l'acide cyanhydrique donne un précipité anhydre d'un blanc éclatant formé de cyanure d'argent.

Ce corps, soumis à une certaine température, entre d'abord en fusion et se décompose ensuite avec incandescence en dégageant du cyanogène gazeux; le résidu de l'opération, traité par l'acide azotique, ne s'y dissout pas entièrement; il reste un résidu noir que l'on a pris jusqu'ici pour de l'argent carburé. Or l'analyse exacte de ce résidu, faite dans le laboratoire de M. Liebig, a démontré qu'il renferme du cyanogène modifié, c'est-à-dire du paracyanogène combiné avec de l'argent.

Ce corps, après avoir été épuisé à quatre reprises différentes par l'acide azotique, s'est trouvé composé de $C^6 Az^3 + Ag$, c'est-à-dire de 3 équivalents de cyanogène, formant la molécule du paracyanogène, combinés avec un équivalent d'argent. Le paracyanogène forme ainsi avec l'argent une combinaison chimique dans laquelle subsistent les propriétés métalliques de l'argent. On pouvait donc supposer que le paracyanogène est capable de former avec d'autres métaux des combinaisons analogues, et c'est ce qui avait porté le célèbre chimiste allemand à croire aussi que l'acier n'est point un simple carbure, mais plutôt un paracyanure de fer.

Le gaz ammoniac étant décomposé par le fer rouge en azote et hydrogène, et le charbon incandescent le transformant en acide cyanhydrique et hydrogène, le gaz ammoniac, en passant sur du fer carburé porté au rouge, doit nécessairement produire de l'acide cyanhydrique, et, par conséquent, du paracyanure de fer.

M. de Liebig ajoute qu'il a constamment constaté la présence du cyanure de potassium dans les hauts-fourneaux marchant au coke, et il explique le fait par les quantités assez considérables de gaz ammoniac que donne la houille par la distillation sèche; ce gaz est transformé en acide cyanhydrique par le charbon incandescent, et l'acide cyanhydrique, en présence de n'importe quel oxide métallique, donne toujours naissance à un cyanure. La présence du cyanure de potassium a d'ailleurs été aussi constatée dans les fourneaux au charbon de bois.

Cette théorie, qui n'est, en définitive, qu'une hypothèse à l'égard de l'acier, laisse subsister toutes nos objections; elle ne s'appliquerait, comme on peut en juger, qu'aux fers déjà carburés et surtout aux fontes, puisque tout s'y prêterait pour le mieux dans les hauts-fourneaux. Quoi qu'il en soit, la con-

cordance qu'elle présente, eu égard à la présomption sur la composition chimique de l'acier, avec les idées de M. Frémy, est remarquable, et l'autorité du grand nom de M. Liebig lui donne un grand poids.

Si ces illustres chimistes sont réellement dans la bonne voie, il leur sera facile de nous convaincre; il leur suffira de vérifier, par des analyses quantitatives, que tous les divers produits qui constituent la famille des fers, fontes et aciers, sont bien composés comme ils le présument; et nos objections auront peut-être le mérite de provoquer de leur part des éclaircissements sur les points que la pratique a le plus d'intérêt à bien connaître, et de les engager à remplacer les théories insuffisantes du passé par une théorie plus en harmonie avec le besoin de progrès qui anime aujourd'hui notre industrie métallurgique. En attendant, nous croyons en toute conscience qu'il n'y a pas lieu encore de se préoccuper trop fortement des controverses soulevées dans ces derniers temps par la question des aciers; nous pensons que cette question est encore assez loin de pouvoir être résolue scientifiquement, et que les principes théoriques introduits par M. Jullien seront d'un emploi beaucoup plus utile, si on ne cherche pas à les souder trop tôt aux nouvelles idées, sur lesquelles on n'est, d'ailleurs, point d'accord, et qui, tant qu'elles n'auront pas été étudiées plus à fond, ne paraissent pas appelées à rendre des services immédiats au point de vue des applications industrielles.

Dans les discussions, et sous l'empire de l'espèce d'enthousiasme que les communications, du reste fort précieuses et fort intéressantes, de M. Frémy, ont soulevées, on ne s'est pas fait faute de qualifier les méthodes actuelles de préparation de l'acier, de barbares ou primitives. C'est toujours ce qui arrive quand on croit apercevoir de nouveaux moyens à substituer aux anciens procédés.

Rien n'est cependant plus simple et plus rationnel que les méthodes actuelles. La difficulté n'est pas de produire au hasard un acier quelconque, et c'est en cela que la plupart des innovateurs échouent, quand, faute de connaître suffisamment la question, ils viennent présenter de nouvelles inventions dans lesquelles on ne s'est préoccupé que de la question purement chimique ou théorique.

La véritable, la seule difficulté de la fabrication actuelle, c'est de produire égales, homogènes et pures toutes les espèces très-variées d'aciers réclamées par les besoins de l'industrie.

Le fabricant est, pour ainsi dire, constamment sous l'empire de deux nécessités opposées, celle de faire d'excellents produits qui coûtent alors fort cher, et celle de satisfaire aux besoins généraux de l'industrie qui veut cependant payer le moins cher possible. Il faut donc qu'il s'étudie à approprier chaque nature de produits aux divers emplois qu'on en veut faire, afin de pouvoir répondre, au mieux des intérêts de chacun, à la double proposition du maximum de qualité strictement nécessaire, et du minimum de dépense; c'est en quelque sorte la résultante de ces deux propositions qui est la solution du problème; elle embrasse, comme on peut bien le penser, une infinité de questions secondaires qui exigent, de la part du fabricant, des connaissances pratiques très-étendues et surtout très-minutieuses.

Au point de vue du maximum de qualité, toute la question se résume à ceci : rechercher les fers les plus purs, les cémenter avec lenteur et les refondre jusqu'à deux fois en creuset.

Prendre le fer comme point de départ ou base de la fabrication de l'acier, c'est s'assurer le seul moyen pratique d'obtenir la plus grande pureté du produit; la cémentation lente est le moyen le meilleur pour en établir l'égalité, et la fusion, pour en réaliser l'homogénéité.

Nous avons suffisamment insisté sur la question de pureté, de laquelle dépend le corps de la matière, pour qu'il soit superflu d'y revenir.

Quant à l'égalité, il suffit de se rendre compte de la nature délicate des services que le produit est appelé à rendre, pour se pénétrer de son importance. Or si, comme nous l'avons dit, la saturation du carbone dans le fer est proportionnelle, d'une part à la température à laquelle se fait l'opération, et d'autre part à la durée de cette même opération par rapport aux dimensions du fer, on doit concevoir qu'à chaque nature de produit correspond un maximum de chauffage, et que pour arriver à l'égalité convenable quand on opère sur des masses considérables, le seul moyen pratique est d'y mettre le temps. On commence donc par chauffer un peu fort pendant les premiers jours, puis ensuite on ralentit le feu et on le maintient pendant un temps suffisamment long pour que la quantité de carbone introduite pendant la première période ait le temps de se répartir uniformément dans toute la masse. Cependant, malgré toutes les précautions qu'on pourra prendre, on n'arrivera jamais à une exactitude rigoureuse, parce qu'il n'est matériellement pas possible de chauffer uniformément des masses aussi considérables que celles des caisses à cémenter. C'est pour cela, et pour obtenir en même temps l'homogénéité la plus parfaite, qu'on a recours à la fusion; à cet effet, on compose les charges aussi régulièrement qu'on peut y arriver par l'inspection de la cassure du produit cémenté. Une seule fusion suffirait pour réaliser l'homogénéité, si l'on était toujours maître d'élever suffisamment la température, pour communiquer à la masse fondue une parfaite fluidité. Mais c'est déjà une grande difficulté pratique, que d'atteindre des températures aussi élevées que celles que nécessite la fusion de l'acier. On est donc forcé, dans certains cas, de recourir à une deuxième fu-

sion, lorsqu'on veut atteindre la perfection du produit, au double point de vue de l'égalité et de l'homogénéité.

Si l'on considère d'une part l'importance excessive des services qu'on demande à l'acier, et d'autre part les dépenses considérables que représentent les travaux préparatoires qu'il doit subir pour être amené à la forme sous laquelle il doit fonctionner, on doit se pénétrer du sentiment des précautions infinies qui doivent présider à sa fabrication.

Qu'on nous permette, à ce sujet, de citer un seul exemple que nous retirons d'anciennes notes un peu vieilles, à la vérité, mais d'une actualité suffisante pour le but que nous nous proposons.

Jusqu'en 1850, la monnaie de Paris employait, pour ses coins de monnayage, de l'acier corroyé fabriqué par M. Schmidt-born-de Goffontaine. Cet acier était enveloppé d'une chemise de fer, et forgé en coins qui étaient ensuite tournés pour recevoir la gravure. Ces coins donnaient en moyenne au moins 10 p. 0/0 de perte à la trempe; cette perte s'est élevée à certaines époques jusqu'à 25 p. 0/0.

L'acier corroyé, forcément moins pur et moins homogène que l'acier fondu, ne pouvait d'ailleurs donner pour la gravure que des surfaces défectueuses; le poli en était très-imparfait.

La moyenne de monnayage en pièces de cinq francs était, pour un coin, de 40 à 50,000 pièces.

Lorsqu'on en vint à employer l'acier fondu, on obtint dès le commencement 80 à 90,000 pièces, puis 100,000 et plus; une paire de coins d'acier fondu français, de Jackson frères, a pu même frapper jusqu'à 500,000 pièces; les rebuts à la trempe se sont trouvés réduits à moins de 1 p. 0/0. Si l'on réfléchit à l'importance de la main-d'œuvre représentée par la gravure, que tout ce travail préparatoire peut être perdu par

un accident de trempe, qu'enfin, même quand on réussit, on peut avoir des rendements très-différents, on se convaincra de l'importance qu'il faut attacher aux soins de la fabrication, et on se fera une plus juste idée de la nature des difficultés à vaincre.

Nous pourrions trouver dans la préparation des rouleaux de laminoirs, des matrices d'orfévrerie, des galets à aplatir le trait d'or et d'argent, et dans une infinité d'autres objets, des exemples non moins frappants, mais cela nous entraînerait trop loin. Nous pensons d'ailleurs en avoir dit assez pour faire comprendre que, si l'azotation peut offrir des moyens plus parfaits, plus expéditifs, plus sûrs et plus économiques de procurer l'homogénéité et l'égalité des produits, elle rendra de réels services, mais il est peu probable que l'azote fasse de bons aciers avec des fers médiocres, et nous ne sommes pas convaincu que, s'il reste en totalité dans le produit, il n'en altère pas la qualité.

Au reste, toute la question nous paraît se résumer à ceci : considéré au point de vue théorique, l'acier est, comme la fonte, un composé à proportions variables des éléments principaux, carbone et fer, et, suivant M. Jullien, un composé dans lequel le fer est à l'état mou, et le carbone à l'état amorphe dans l'acier doux, et à l'état cristallisé dans l'acier trempé. Si l'azote est intervenu dans sa formation, rien ne s'oppose à ce qu'il soit intervenu dans la formation de la fonte, et selon toute probabilité, à part les questions d'impuretés chimiques, il n'y a de différences à établir que dans les quantités relatives et dans la forme physique que le carbone affecte dans les diverses variétés de ces deux classes de produits.

Au point de vue pratique, l'acier est un produit ductile, susceptible de durcir à la trempe en conservant sa tenacité, et capable de supporter le travail de la forge, d'aller souvent au

feu sans éprouver d'altération sensible dans ses propriétés aciéreuses. Ce sont, à ces deux points de vue, les produits les plus purs, c'est-à-dire les composés purs de carbone et de fer, qui ont paru jusqu'ici donner les plus grands effets.

Si l'on compare le produit théorique au produit commercial, on voit qu'il n'y a réellement de différence que dans l'état de pureté du composé. C'est, en effet, à cette pureté qu'on doit le corps et la persistance des propriétés utiles, et ce sont, en somme, ces propriétés utiles qui en font la valeur commerciale.

La teneur en carbone se trouvait autrefois limitée, d'une part, par la nécessité du durcissement à la trempe, et, d'autre part, par le mode de préparation. Tant que les moyens de production se sont trouvés bornés à la cémentation du fer dans le charbon, on ne pouvait obtenir qu'un maximum de saturation proportionnel à la température qu'on pouvait atteindre sans danger de mettre le produit en fusion dans les caisses à cémenter. Plus tard, la fusion en creusets a procuré un moyen de préparer des aciers plus durs, par l'addition de proportions supplémentaires de charbon au fer déjà carburé à son maximum de saturation à l'état solide. Il est fort possible que le secours de l'azotation puisse permettre d'atteindre tous les degrés de saturation, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir les hautes températures; mais cette ressource ne procurera pas l'égalité et l'homogénéité rigoureuses, si les fers employés ne sont pas eux-mêmes rigoureusement homogènes et égaux; ce sera probablement là que sera l'écueil, si l'on cherche à tirer parti industriellement des recherches de M. Frémy. Aujourd'hui, de nouveaux besoins ont fait franchir les anciennes limites; on est arrivé à préparer des aciers qui prennent à peine la trempe, et qui, cependant, n'en méritent pas moins, par la nature des services qu'ils sont appelés à rendre, le nom d'aciers.

Les aciers fondus qu'on prépare pour rails, bandages, essieux, pièces de machines, etc., prennent difficilement la trempe, parce qu'ils sont très-peu carburés, et qu'ils se présentent toujours sous des volumes trop forts pour qu'il soit facile de leur faire subir un prompt refroidissement. Peut-être exagère-t-on trop, dans ces applications nouvelles, le rapprochement de la nature du produit, à celle du fer pur. La qualité essentielle qu'on doit chercher dans ces applications, c'est l'élasticité de la matière; car, c'est cette propriété qui la fait le mieux résister aux chocs, aux secousses et aux pressions excessives, pour lesquels le fer est devenu insuffisant. Or, l'élasticité résulte de l'union intime de la tenacité qui vient du fer, et de la dureté qui vient du carbone; ce dernier pousse à la fragilité lorsque ses proportions sont exagérées; mais il existe une moyenne de proportions respectives qui correspond à un maximum d'élasticité sans fragilité, c'est ce qui a été réalisé, par exemple, dans la préparation des aciers à ressorts, qui, lorsqu'ils sont convenablement fabriqués avec de bonnes matières, donnent des effets tout à fait supérieurs.

C'est aussi ce que nous voudrions voir réaliser dans les applications ci-dessus mentionnées, et ce que nous nous sommes toujours efforcé à faire prévaloir quand nous avions voix délibérative dans la question. Les produits de Krupp, qui ont fait une si grande sensation lors de leur apparition dans l'industrie, répondent assez bien à cette condition, cependant les éléments dont ils proviennent ne présentent, par eux-mêmes, rien de supérieur aux ressources qu'on peut trouver en France, pour atteindre les mêmes résultats; les difficultés et les frais de fusion sont d'ailleurs d'autant plus grands, qu'on se rapproche plus de la fusion du fer pur. C'est donc à tort qu'on cherche à discréditer les produits très-doux, en disant que les fabricants voudraient faire passer du fer pour de l'acier. La critique de-

vrait plutôt se porter sur la fausse voie des tendances industrielles, et sur l'oubli qu'on fait trop souvent des difficultés pratiques, dans les jugements qu'on porte sur les efforts de l'industrie privée, quand celle-ci n'a cependant réellement en vue que la réalisation d'un nouveau progrès.

NOTE

sur l'épuration des eaux d'alimentation des machines

PAR

M. CHAVÈS

Nous venons de procéder au chemin de fer du Nord, dans deux gares du réseau, à des essais d'épuration d'eau, qui ont donné des résultats qui nous ont paru pouvoir intéresser la Société.

Nous avions affaire à des eaux chargées essentiellement de bicarbonate de chaux, et marquant à l'hydrotimètre de 31 à 32°.

Par l'emploi de la chaux seulement comme réactif, en proportion variable de 25 à 35 kilog. par 100 mètres cubes d'eau à épurer, et sans autre agitation dans le grand réservoir que celle résultant de la chûte de l'eau pompée, nous avons pu réduire ce degré à 8 ou 9° au plus.

D'ailleurs la disposition des appareils est des plus simples; elle consiste à amener le tuyau de refoulement des pompes jusqu'à la partie supérieure du réservoir, pour le faire redescendre ensuite jusqu'au fond, ou à peu près, et à placer au point le plus haut de ce tuyau une bâche avec agitateur, où le lait de chaux est agité, en même temps qu'il s'écoule dans la partie descendante du tuyau, de façon à arriver en même temps que l'eau pompée au fond du réservoir d'épuration.

Les résultats ont prouvé que ces procédés étaient suffisants, et que l'on pouvait ainsi s'affranchir de tout l'attirail des grands agitateurs de l'eau, qui exigent une certaine force motrice, et, par conséquent, occasionnent une dépense et un embarras qui peuvent dans certains cas faire hésiter à s'en servir.

L'opération totale de l'épuration comprend plusieurs opérations partielles qui sont :

1° Le dosage préalable de la chaux, relativement à la qualité de l'eau à épurer;

2° La préparation du lait de chaux;

3° Le mélange du lait à l'eau, et la décantation;

4° Le filtrage ou clarification, — cette dernière opération n'est que le complément de l'épuration.

Nous allons examiner successivement chacune de ces opérations.

Détail des opérations

1° Dosage préalable.

Les essais se font au laboratoire, soit avec de la chaux vive provenant du même pays que l'eau à épurer, et éteinte préalablement dans une fois et demie son poids d'eau, soit avec une dissolution saturée de chaux, laquelle contient 1gr,8 de chaux par litre de liqueur.

La liqueur titrée peut être conservée, toute prête, dans des flacons hermétiquement fermés; elle a une composition constante; elle est, par suite, d'un emploi beaucoup plus commode que la chaux, dont le dosage est délicat en raison des quantités très-minimes sur lesquelles on opère.

D'ailleurs, nos essais, soit par l'une, soit par l'autre méthode, se sont toujours trouvés remarquablement confirmés dans les applications faites en grand.

Cela fait on procède au dosage.

Le moyen qui nous a paru le plus simple est d'opérer par tâtonnement méthodique.

On met dans plusieurs bouteilles d'eau à épurer des quantités variables de chaux, et mesurées pour correspondre, par exemple,

à 15, 20, 25, 30, 35, 40 kilogr. de chaux par 100 mètres cubes d'eau.

On agite le mélange, et on laisse reposer douze heures environ.

Au bout de ce temps on en décante la quantité nécessaire pour prendre le degré hydrotimétrique de chacune de ces liqueurs; on choisit les deux dosages qui ont donné les meilleurs résultats, et on recommence l'opération en intercalant entre ces deux dosages une nouvelle série de dosages plus rapprochés.

On arrive ainsi à trouver la proportion de chaux qui donne le plus grand abaissement du degré hydrotimétrique de l'eau à épurer.

Nous ferons observer qu'une chaux vive conservée à l'air donne, au bout de quelques jours, des résultats notablement inférieurs à ceux des premiers moments; il est donc important de conserver la chaux destinée aux essais dans des bocaux bien bouchés.

Opération dans les réservoirs

2° Préparation du lait de chaux.

La quantité de chaux qui correspond au volume d'eau à épurer est éteinte chaque jour, dans une fois et demie son poids d'eau; et on laisse l'opération se faire jusqu'au lendemain.

Au bout de ce temps, on la dissout dans la bâche à lait de chaux, dont la capacité est environ décuple du volume de la chaux éteinte. Cette bâche est placée au niveau supérieur des réservoirs d'épuration.

3° Mélange du lait a l'eau, et décantation.

Le lait ainsi préparé s'écoule d'une manière continue, avec l'eau à épurer, par un même conduit qui les amène ensemble au fond du réservoir.

Le lait de chaux, pendant ce temps, est agité dans la bâche pour maintenir constamment la chaux en suspension.

Cela fait, on laisse reposer le mélange.

La durée de ce repos doit être de six ou huit heures au moins, pour laisser le temps au carbonate de chaux de se précipiter complétement au fond du réservoir.

Influence de l'agitation du lait de chaux

Quelques expériences avaient paru montrer qu'on pourrait simplifier l'opération, soit en supprimant l'agitation du lait dans la bâche, soit même en le versant tout d'abord et d'un seul coup dans le réservoir d'épuration.

Mais depuis, nous avons pu renouveler nos essais, et ils nous ont donné des résultats parfaitement tranchés, et qui confirment pleinement la méthode qui vient d'être décrite. Ces résultats sont les suivants :

Quand on opère avec agitation, c'est-à-dire au moyen d'une bâche dans laquelle le lait de chaux est agité pendant toute la durée de son écoulement dans le tuyau de refoulement des pompes, et simultanément avec le pompage, on constate constamment pour l'eau épurée un degré hydrotimétrique variant de 7 à 8°, 9° au plus, et qui est le même, soit qu'on prenne l'eau dans le réservoir d'épuration soit qu'on la prenne à la sortie des filtres.

Quand, au contraire, on n'agite pas, et qu'on se contente de verser le lait dans la bâche, pour qu'il s'écoule naturellement, on trouve que le degré de l'eau ainsi épurée s'est élevé à 11° dans le réservoir, mais qu'il s'abaisse à la sortie des filtres, et qu'il est d'autant moindre que l'eau a éprouvé plus de résistance à les traverser.

Le mélange du lait à l'eau ne s'était donc pas complétement effectué dans le réservoir d'épuration, où il devait se trouver des quantités d'eau contenant un excès de chaux, et d'autres qui en

manquaient, ce qui contribue également à élever le degré hydrotimétrique.

Enfin, quand on se contente de verser le lait de chaux d'un seul coup dans le réservoir d'épuration, dans le but d'éviter les variations de densité que subit le lait, dans la méthode précédente, pendant qu'il s'écoule librement de la bâche, on trouve que l'eau épurée a un degré hydrotimétrique encore plus élevé dans le réservoir, soit de 15 à 18°.

L'agitation du lait est donc utile pour que l'épuration n'ait pas besoin de se continuer dans les filtres dont ce n'est pas la destination, ce qui ne se ferait d'ailleurs qu'au détriment de la rapidité d'écoulement de l'eau épurée, et aussi au détriment des filtres eux-mêmes qui s'engorgeraient promptement et nécessiteraient des nettoyages très-fréquents et coûteux.

Le but que l'on se proposait, en cherchant à supprimer l'agitation du lait, était uniquement d'éviter des frais de main-d'œuvre, les réservoirs d'épuration ne se trouvant pas placés de façon à pouvoir recevoir le mouvement d'une machine d'atelier.

D'ailleurs, il ne faut pas s'exagérer l'importance de cette dépense d'agitation du lait; nous avons reconnu, en effet, qu'il suffit que l'écoulement du lait, et par suite son agitation, aient seulement une durée assez longue pour que ce lait ait pu rencontrer, dans le tuyau de refoulement des pompes, une quantité d'eau largement suffisante pour dissoudre complétement toute la chaux nécessaire à l'opération. Car une fois la dissolution bien opérée, elle se mêle bien intimement aux nouvelles quantités d'eau introduites dans le réservoir, et cela par la seule agitation produite par le jet de cette eau contre la paroi du fond de ce réservoir. Dans notre expérience, il suffisait d'une heure d'agitation du lait pour l'épuration de 200 mètres cubes d'eau.

4° Filtrage.

L'opération de l'épuration devait se terminer ici. Cependant,

dans la crainte que la décantation ne soit pas complète, nous faisons passer l'eau sur un filtre à laine et éponge, à la sortie des réservoirs d'épuration.

Pour accélérer l'opération, nous avons placé trois filtres, fonctionnant simultanément, et n'ayant, par conséquent, chacun, qu'un tiers de la quantité totale de l'eau à filtrer.

L'emploi de ces filtres a l'inconvénient de gêner beaucoup l'écoulement de l'eau des réservoirs d'épuration dans ceux de prise d'eau; leur action nous ayant, d'ailleurs, paru nulle quant au degré hydrotimétrique, nous pensions qu'on pourrait se dispenser de ces appareils, en donnant à la précipitation tout le temps qui lui est nécessaire pour se bien opérer, et en établissant le réservoir d'épuration avec un espace suffisant pour la formation des dépôts.

Mais l'expérience s'est montrée contraire à cette opinion.

De l'influence du filtrage

Nous avons à ce sujet deux observations, qui sont les suivantes:

1° Dans une première installation, nous avons essayé d'épurer sans filtrer; immédiatement on s'est plaint que les machines crachaient davantage.

2° Dans la deuxième installation, nous avons épuré en filtrant; et il n'y a pas eu de plainte de crachement; nous venons à supprimer le filtrage pendant trois jours, et immédiatement des plaintes se produisent; le filtrage est rétabli, et aussitôt les plaintes cessent pour ne plus se reproduire.

L'ensemble de ces faits constitue tout au moins une grande présomption, qui, jusqu'à preuve du contraire, doit, ce nous semble, faire considérer le filtrage comme fort utile.

Nous avons dit que l'emploi des filtres apporte une grande gêne à l'écoulement de l'eau; en effet :

Les 3 filtres à laine et éponge ordinaires débitaient ensemble, par heure. . . . . 36 m

En fermant un de ces filtres, les deux autres ensemble, par heure. . . . . 28 m

En en fermant deux, le filtre restant débitait seulement, par heure. . . . . 12 m

D'ailleurs, en les fermant tous trois, et ouvrant la vanne de distribution directe, le débit par heure était de . . . . . 101 m

C'est-à-dire que le débit par heure a été réduit :

Dans le 1er cas, de. . . . . 64 p. 0/0

Dans le 2e cas, de. . . . . 72 p. 0/0

Et dans le 3e cas, de . . . . . 88 p. 0/0

de ce qu'il eût été, si l'on n'eût pas fait usage de filtres.

Et encore ce débit réduit n'est-il obtenu que lorsque les filtres viennent d'être récemment nettoyés, car, dès le lendemain du nettoyage, la durée d'écoulement de 200 m d'eau s'élevait de 8 h 15′ à 8 h 55′, elle était plus grande les jours suivants, et atteignait 10, 11 et même 12 heures. A ce moment, qui arrive au bout d'une dizaine de jours, il faut nettoyer à nouveau tous les filtres, ou au moins une partie.

En présence de cette perte de temps, qui nuit à la décantation, nous avons cherché à nous rendre compte de la manière de fonctionner des filtres, pour voir s'il ne serait pas possible d'y apporter quelque amélioration.

Nous avons d'abord constaté :

1° Que la laine ne faisait pas fonction de matière filtrante ; l'eau y séjourne, mais ne la traverse pas ; la laine se prend en masse compacte, imperméable à quelques fissures près, et se resserre vers son centre, pour laisser passer l'eau entre elle et la paroi du filtre.

2° Que l'éponge s'imbibe parfaitement, retient bien la chaux, et conserve sa forme.

3° Que la fine toile métallique qui se trouve à la partie inférieure de ces filtres, et dont les mailles ont à peine $0^m,001$ de largeur, se laissait pénétrer par la laine, s'oxidait très-fortement, et, par suite, devait opposer une grande résistance à l'écoulement.

Pour nous fixer davantage sur ces observations, nous avons recomposé deux des trois filtres, l'un avec une couche de $0^m,40$ de gravier, et $0^m,25$ d'éponge par-dessus; l'autre formé de deux couches d'éponge de $0^m,25$, séparées par une couche de laine de $0^m,15$.

Dans ces deux cas, on avait remplacé la fine toile métallique par une toile à mailles de $0^m,004$ de largeur.

Dans ces conditions :

Le filtre ordinaire, à laine, éponge, et fine toile, débitait par heure. . . . . 16 l. 8 c.

Le filtre semblable, sans fine toile, débitait par heure. 38 l. 8 c.

Le filtre à gravier et éponge, débitait par heure. . . 64 l. »

L'eau paraissait très-claire à la sortie de chacun de ces filtres. Mais dans cette expérience le lait de chaux n'avait pas été agité, et on a trouvé pour degré hydrotimétrique de l'eau :

Au premier filtre. . . 7°

Au second. . . . . 8°

Au troisième. . . . 10°

L'eau marquant. . . 11° dans le réservoir d'épuration.

Ce qui montre bien que l'épuration s'était continuée dans les filtres, en raison des obstacles apportés à l'écoulement de l'eau, ainsi que nous le citions plus haut, pour prouver qu'il est utile d'agiter le lait de chaux.

Mais quand on agite, les filtres sont sans influence sur le degré hydrotimétrique, et il n'y a, pour le choix de leur système, d'autres motifs que ceux qui peuvent résulter de l'expérience de chacun d'eux, au point de vue de la clarification, c'est-à-dire du dépôt dans les chaudières et de leur crachement.

Toutefois nous pensons, dès à présent, que la toile fine de 0,001 doit être repoussée, puisqu'en cas même d'épuration incomplète dans le réservoir le filtre sans fine toile favorise à peu près autant que le premier l'achèvement de l'opération, et que d'ailleurs il a un débit deux fois plus grand.

On voit que l'emploi des filtres conduit :

Soit à établir les réservoirs d'épuration beaucoup plus haut qu'ils n'auraient eu besoin de l'être pour un écoulement ordinaire; soit à donner une grande étendue à la surface filtrante (nos trois filtres avaient chacun 1 mètre de diamètre.), ce que l'on peut combiner avec l'emploi de tuyaux de conduite de grand diamètre pour amener l'eau épurée aux réservoirs de prise d'eau.

En résumé, pour deux des mauvaises eaux de la ligne, contenant essentiellement du bi-carbonate de chaux, nous avons pu, par les procédés qui viennent d'être décrits, ramener leur degré hydrotimétrique de 31 à 7 ou 8, ou 9° au plus; c'est-à-dire les rendre deux fois plus pures que l'eau de Seine, qui marque de 18 à 21°.

Nous déduisons de là que ces procédés doivent être très-suffisants pour tous les cas analogues.

Nous joindrons à cette note un aperçu des prix de revient, et la description d'un système d'appareils pour l'épuration de 200 mètres cubes d'eau par jour..

Prix de revient

1° Frais d'installation.

1 réservoir en tôle de 100 mètres cubes, et support en maçonnerie.	10,000 fr.
1 réservoir en tôle de 200 mètres cubes, et support en maçonnerie.	20,000
à reporter. . . .	30,000 fr.

Report. . . .	30,000 fr.
3 filtres, tuyaux, accessoires.	10,000
Total des frais d'installation. . . .	40,000 fr.

2° Frais annuels.

Intérêt et amortissement du capital d'installation, comptés à raison de 7 p. 0/0 l'an, sur 40,000 fr.	2,800 fr.
Main-d'œuvre, manœuvre des robinets, préparation de la chaux, etc.	1,000
Entretien et renouvellement des filtres, à valoir. .	500
Chaux vive, menus frais.	200
Total des frais annuels. . . .	4,500 fr.

3° Prix de l'épuration de 1 mètre cube $\left(\frac{4,500 \text{ fr}}{72,000 \text{ mc}}\right) = 0$ fr. 064

Ce prix ne comprend pas les frais ordinaires de pompage qui restent très-sensiblement les mêmes.

Nous sommes convaincu que, dans une gare où l'on consomme 200 mètres cubes d'eau par jour, l'économie que l'usage d'eau épurée de 30° à 9° permettrait de réaliser, tant sur les frais de chauffage que sur ceux d'entretien et de lavage des machines, serait incomparablement supérieure à la dépense d'épuration; mais nous ne pouvons citer aucun chiffre à ce sujet, ceux que nous possédons ne nous paraissant pas offrir un degré de certitude suffisant.

Description et légende des appareils

A. Réservoir d'épuration.

Il est rempli simultanément par le refoulement direct des pompes, et par le petit réservoir B.

m. Tuyau d'arrivée de l'eau.

Il reçoit en même temps l'eau des pompes, celle du réservoir B, et le lait de chaux de la bâche C.

Cette disposition a pour but de faciliter le mélange.

C. Bâche à lait de chaux, munie d'un agitateur à main.

B. Réservoir auxiliaire.

Il est rempli pendant le temps que se fait le dépôt dans le grand réservoir A.

La somme des durées des pompages, aux deux réservoirs A et B, représente la totalité du service journalier des pompes, dix heures.

La hauteur relative des réservoirs A et B est déterminée par la condition que le réservoir B doit se vider entièrement dans A, en même temps que l'on pompe à ce dernier réservoir.

v.v.v.v. Vannes d'arrêt.

f. f. f. Filtres à laine et éponge.

v'.v'.v'. Jeu de vannes, servant à isoler les filtres les uns des autres, et d'une conduite de distribution directe.

N. Conduite de départ du réservoir d'épuration.

S. Conduite de distribution directe, sans passer par les filtres.

T. Conduite de distribution générale aux réservoirs de prise d'eau.

K. Tuyau de vidange.

M. Conduite d'arrivée au réservoir A, communiquant directement avec les pompes.

Q. Conduite de communication des réservoirs A et B.

P. Conduite d'arrivée au réservoir B, communiquant directement avec les pompes.

NOTE

sur les citernes vénitiennes

PAR

M. Ch. LAURENT.

Une question d'une certaine importance au point de vue de l'hygiène publique vient d'être reprise par l'Académie des Sciences; il s'agit de la conservation des eaux pluviales, là où la nature n'offre ni sources ni rivières, et où le sol, par sa composition, ne laisse arriver aux puits que des eaux impropres aux usages domestiques, quand toutefois même ils en fournissent en quantité suffisante et permanente.

D'après les calculs les plus simples et les mieux fondés, il est reconnu que l'eau qui tombe sur les toits, bien recueillie et emmagasinée, offrirait un volume d'eau suffisant dans bien des circonstances.

Mais si aux eaux de la pluie on ajoutait les eaux qui seraient recueillies par le drainage, même sur une échelle restreinte, aucun doute que l'emmagasinement puisse suffire à tous les besoins ordinaires de la vie.

Un système de citerne, formé d'un réservoir servant de magasin et précédé d'un filtre au charbon, a été proposé. Ce système et une critique sur les eaux artésiennes de Venise, critique à laquelle nous avons répondu, étant soumis à une commission de l'Académie, nous ne nous en occuperons pas ici.

Depuis longtemps nous indiquons à tous ceux que des circonstances particulières mettent dans la nécessité de recueillir et

de conserver les eaux pluviales, l'ingénieuse disposition des citernes vénitiennes qui, bien faites, conservent presque indéfiniment les eaux qu'on y emmagasine, avec toutes les qualités qu'elles possédaient lors de leur introduction dans le réservoir.

Voici en quoi consiste ce genre de citernes :

On fait une excavation de 15, 20, 30 et jusqu'à 50 mètres de côté, selon la localité; et généralement de 4 mètres de profondeur. On tapisse le fond et les parois de cette excavation avec de l'argile bien corroyée (ailleurs on peut employer une bonne maçonnerie; mais, au milieu des terrains mouvants et peu solides des lagunes, l'argile est préférable) pour éviter toute infiltration des eaux marines. Au milieu de l'excavation se fait le puits, et, à cet effet, on commence par placer une pierre, de 15 à 20 centimètres d'épaisseur, sur laquelle repose la construction cylindrique en briques posées sur plat jusqu'au sol. Au lieu de mortier on emploie un mélange maigre de sable et d'argile, de manière à ce que la filtration de l'eau puisse avoir lieu. Autour du cylindre composé de briques à plat, on fait une enveloppe de briques posées sur champ (une seule brique), puis on remplit l'excavation de sable marin à grains moyens; on emploie ce sable avec son élément salin, mais, lorsque l'eau douce y a passé une fois, il perd son principe salin, et l'eau qu'il laisse passer est bonne. Ailleurs qu'à Venise ou sur les rivages de la mer, les sables siliceux ou quartzeux seraient très-bons pour cet usage.

A partir du niveau K (PL. 17, fig. 4) de l'eau, l'intérieur du puits est enduit jusqu'au sol de chaux hydraulique ou d'un ciment de pouzzolane.

A une distance, qui est ordinairement la moitié de celle du centre de l'excavation du puits à l'enceinte d'argile, on pratique un canal formant un carré inscrit et parallèle au carré de ladite enceinte; ce canal est construit en briques sur les parois verticales. La brique a toute sa largeur sur le fond; on se contente de son épais-

seur. On emploie comme ciment le même mélange de sable et d'argile, dont il est parlé plus haut, pour unir les briques entre elles. Enfin on fait une voûte audit canal, soit en pierres plates soit en briques. A chacun des angles du canal on pratique un caniveau de 0m,50 de côté, on le recouvre par une seule pierre plate de 0m,60 à 0m,80 de côté, au milieu de laquelle est un trou ordinairement rond de 0m,30, et recouvert par une pierre lenticulaire ayant de petits orifices au nombre de deux ou quatre pour l'entrée des eaux pluviales.

L'eau tombant dans le canal traverse d'abord le gros sable contenu dans les caissons qui se trouvent à chaque angle, puis, de là, se rend dans les canaux aux parois perméables, et enfin s'épanche dans l'immense filtre sableux contenu dans le bassin argileux pour parvenir dans le puits qu'elle remplit peu à peu, et où on la puise.

Lorsque les eaux de pluie deviennent surabondantes, elles s'échappent au moyen d'un petit aquéduc CD qui communique du canal en briques à la mer. Toutes les citernes ne sont pas munies de cet aquéduc de trop-plein, il en résulte que souvent étant trop pleines elles débordent sur les places.

Les anciens Vénitiens apportaient de très-grands soins à la construction de ces réservoirs. Les margelles de beaucoup de puits sont fort belles; elles sont en pierre ou en marbre admirablement sculpté, quelques-unes en bronze; celles du Palais ducal sont de véritables chefs-d'œuvre. L'une de ces margelles a été exécutée en 1556 par Nicolas de Marc de Conti, Vénitien, et l'autre en 1559 par le Ferrarais Alphonse Alberghetti.

RAPPORT

adressé à la Compagnie des chemins de fer du Nord de l'Espagne, sur les travaux de percement du Mont-Cenis.

PAR

M. NOBLEMAIRE, ingénieur des Mines

Dans cette laborieuse entreprise du percement des Alpes, la période de discussion et d'essais est aujourd'hui passée; il ne s'agit plus de savoir si les appareils marcheront, mais d'examiner dans quelles limites ces procédés rapides, mais coûteux, sont applicables dans la pratique courante des chemins de fer.

Les appareils en eux-mêmes sont encore assez peu connus pour qu'un examen de ce genre doive être nécessairement précédé de leur description détaillée.

Le mouvement est donné aux machines perforantes par l'air comprimé à l'extérieur du tunnel. Trois choses sont donc à considérer dans l'ensemble du système :

Les compresseurs d'air;

Les conduits d'air comprimé;

Les percusseurs.

Les machines n'ayant encore fonctionné qu'à Bardonnèche (entrée piémontaise du souterrain), tout ce qui suit se rapporte à ce point. J'indiquerai ensuite les modifications apportées aux appareils actuellement en montage à Modane (entrée Nord).

La force motrice a été empruntée au torrent de Melezet, le seul abondant qui ne gèle pas pendant l'hiver. Un canal de trois kilomètres de développement peut amener quinze cents litres d'eau par seconde à une hauteur de quarante-cinq mètres au-

dessus du niveau de l'écoulement; on a donc, à la rigueur, à sa disposition, une force motrice de 900 chevaux, plus que suffisante dans tous les cas; on est loin, du reste, de l'employer aujourd'hui. Le bassin utile n'est qu'à vingt-six mètres au-dessus de la vidange; le canal n'amène d'ailleurs que six cents litres par seconde, on se contente donc d'une force encore surabondante de deux cent huit chevaux.

Compresseurs.

Disposition. Pour comprendre le jeu d'un compresseur, il est nécessaire de se reporter Pl. 18, fig. 6; A est la soupape d'admission d'eau dans l'appareil; B, la soupape d'échappement de cette eau une fois qu'elle a agi; C, la soupape d'admission d'air comprimé dans les réservoirs. La disposition particulière de ces soupapes sera indiquée ultérieurement.

Mode d'action. Supposons que la soupape d'admission A soit fermée, celle d'échappement B ouverte; la soupape C étant naturellement fermée par la pression (5 atmosphères) de l'air dans le réservoir D, l'eau du bassin supérieur remplit le réservoir X (dont l'ouverture supérieure est à trois mètres au-dessous du niveau de l'eau) et le tuyau Y jusqu'au niveau de la soupape d'échappement B; l'air qui s'est introduit par les quatre petites soupapes *l* remplit la colonne verticale, depuis ce niveau jusqu'à la soupape C, sur $4^{m},30$ de hauteur; il y occupe un volume d'air de $1^{m},290$ environ.

Si maintenant l'on ferme la soupape d'échappement B et qu'on ouvre l'admission A, l'eau afflue brusquement dans la colonne Z. Il ne s'y produit pas seulement un équilibre de pression entre l'eau et l'air, qui ne serait de cette manière comprimé qu'à $2^{atm},6$ environ; mais l'eau, arrivant dans le tuyau Z avec sa force vive, y fait bélier et y amène l'air à une pression de 6^{atm}

atmosphères accusée par le manomètre; à cette pression, il soulève la soupape C et passe dans le réservoir D, où il est maintenu à la pression constante de cinq atmosphères.

On ferme alors l'admission A, on ouvre l'échappement B, et tout revient dans l'état initial.

La position de la soupape C dans la colonne Z, c'est-à-dire la hauteur de la colonne d'air à y admettre, a été calculée d'abord, puis établie expérimentalement en faisant varier dans plusieurs compresseurs la hauteur de cette colonne, de manière que, dans le coup de bélier, l'eau montant exactement jusqu'à la soupape C, tout l'air comprimé soit exactement refoulé dans le réservoir D. Il n'est même pas mauvais qu'un peu d'eau passe par la soupape; on est sûr alors que tout l'air a été refoulé. Cette eau tombe dans l'appendice E, muni d'un tube indicateur par lequel on peut la faire écouler.

Disposition et jeu des soupapes. Les figures 7 et 8, représentant l'admission et l'échappement dans leurs chapelles, peuvent donner une idée de la forme et du jeu des soupapes. Elles se composent de deux cylindres en bronze glissant à frottement l'un dans l'autre.

Le cylindre extérieur est percé de larges ouvertures pour le passage de l'eau. Suivant que le cylindre intérieur à surface pleine les masque ou les démasque, la communication entre l'intérieur et l'extérieur est fermée ou établie, et le mouvement de l'eau rendu possible ou impossible.

Un arbre horizontal F (fig. 6), mû par quatre petites machines de huit chevaux fonctionnant à l'air comprimé, porte des cames qui produisent le mouvement des deux soupapes d'admission et d'échappement.

Dans la première, l'eau ne passe que quand le cylindre intérieur est abaissé; ce mouvement d'abaissement, qui doit être aussi vif que possible, est produit par l'action d'un piston *f* de $0^m,13$ de

diamètre, pressé de haut en bas par de l'air à cinq atmosphères venant des réservoirs, et soumis de ce côté à une pression de 700 kilogrammes.

Appareil de sureté. Il est indispensable pour le bon fonctionnement de l'appareil, que la soupape d'admission ne s'ouvre que quand celle d'échappement est entièrement fermée. Pour cela, l'extrémité *t* du balancier qui manœuvre la soupape d'admission est arrêtée par une griffe *g* (fig. 14).

Quand la soupape d'échappement arrive à l'extrémité inférieure de sa course, un taquet fixé sur sa tige rencontre le levier coudé *l* et fait frapper le marteau *m* sur la partie inférieure de la griffe *g* qui abandonne alors le balancier. La soupape d'admission peut se baisser pour donner passage à l'eau; lorsqu'elle est relevée par l'action de la came, la griffe *g*, poussée par le ressort *t*, ressaisit l'extrémité du balancier.

Quant à la soupape d'admission d'air C (fig. 6), c'est un simple plateau en bronze renflé au milieu, doublé d'une feuille de caoutchouc, et prenant un mouvement vertical le long de six guides disposés à cet effet.

Dérangements. La marche de ces compresseurs est extrêmement régulière avec des eaux claires, ou même avec des eaux n'ayant en suspension que des boues ou des sables fins. Il en est autrement, quand elles amènent avec elles, dans les crues, des matières ligneuses ou filamenteuses très-ténues (racines, mousses). Qu'arrive-t-il alors? Le jeu de la soupape d'admission n'est plus aussi net qu'il devrait l'être. Si elle s'arrête, même un moment très-court, en ne démasquant que partiellement les ouvertures, l'eau n'arrive pas avec assez de vitesse pour comprimer dans le tuyau Z l'air à six atmosphères; ne pouvant soulever la soupape C, il réagit à son tour sur l'eau qu'il refoule vers la soupape d'admission; et, des chocs qui se produisent alors, résulte presque toujours une rupture dans cette partie de l'appareil.

Réservoirs d'air. Les réservoirs d'air sont des chaudières en tôle à fonds hémisphériques, de 10^m de longueur environ et de 17^{m3} de capacité; un mattage soigné, à l'intérieur et à l'extérieur, répété deux fois, les rend étanches au point que, dans une expérience de 72 heures, un de ces réservoirs de 17^{m3} n'a perdu que 50 litres d'air.

Constance de la pression. J'ai dit plus haut que la pression était constamment de cinq atmosphères dans ces réservoirs; on y arrive en les faisant communiquer, par un tuyau inférieur V, (fig. 6) avec un petit bassin à 50^m au-dessus d'eux : à mesure que l'air sort des réservoirs, l'eau y rentre, ce qui donne le moyen de connaître, avec un indicateur en verre convenablement gradué, toujours le volume d'air disponible. On laisse constamment, dans la marche, environ $0^m,10$ d'eau dans ces chaudières pour être sûr qu'on n'y refoule pas trop d'air qui s'échapperait alors par le bassin supérieur.

Effet utile des compresseurs. Nous pouvons maintenant calculer l'effet utile de ces machines et, par suite, la force qu'il faut avoir à sa disposition pour la bonne marche du travail.

Nous avons vu que chaque coup de bélier comprime et refoule dans les réservoirs $1^{m3},290$ d'air libre; avec trois coups de bélier à la minute, on comprime donc à cinq atmosphères (ou plutôt à six, puisque telle est la pression momentanément accusée par le manomètre du tuyau Z) par minute $3^{m3},870$

par seconde $0^{m3},0645$

d'air libre.

On peut négliger, dans un calcul de ce genre, les effets calorifiques de la compression, et supposer que les gaz obéissent à la seule loi de Mariotte.

Dans ces conditions, on sait que pour amener de la pression P_0 à celle supérieure P_1 un volume V_0 d'air, le travail théorique nécessaire est donné par la formule :

$$P_0\ V_0\ l\frac{P_1}{P_0} = 2{,}3026\ P_0\ V_0\ log.\ \frac{P}{P_0} =$$

$= 2{,}3026 \times 10{,}330 \times 0{,}0645\ log.\ 6 =$ 1177 kilogrammètres, c'est-à-dire 15, 7 chevaux.

Le volume d'eau dépensé par un compresseur, s'il n'y avait aucune perte d'eau par les soupapes A et B, aucun entraînement avec l'air comprimé par la soupape C, etc., serait précisément égal au volume d'air libre, c'est-à-dire $0^{m3},0645$ par seconde, qui représente, avec une chûte de 26^m, un travail de 22, 36 chevaux. Le rendement maximum de ces compresseurs est donc de 70 p. 0/0.

En réalité il faut, je crois, pour tenir compte des pertes de toute espèce, évaluer à $0^{m3},080$ la dépense d'eau par seconde; avec la chute de 26^m, cela représente une dépense de travail de 27,72 chevaux, et un rendement de 56 p. 0/0.

Calcul de la force motrice dont on doit disposer. Pour évaluer la force motrice qu'on doit avoir à sa disposition, il faut connaître la quantité totale d'air nécessaire, soit aux machines, soit à l'aérage.

1° *Machines.* Une machine dépense environ $0^{m3},180$ d'air comprimé par minute; elle marche 14 à 15 heures sur 24; cela représente donc pour les huit machines une dépense totale, par 24 heures, de 1250^{m3} d'air comprimé ou 6250^{m3} d'air libre.

2° *Aérage.* Il faut pour un homme et sa lampe 6^{m3} par heure, qui représentent, pour 15 hommes, une dépense d'air de 2160^{m3} par 24 heures.

L'explosion de la poudre produit des gaz irrespirables qu'il est nécessaire de noyer dans une grande quantité d'air. 20 kilog. de poudre seront à peu près brûlés en 24 heures; il faudra pour les diluer au plus 4000^{m3} d'air libre.

On voit donc que l'échappement des machines peut fournir et a fourni en effet jusqu'ici, pour 800^m de galerie, tout l'air nécessaire à l'aérage.

Il en sera autrement quand la galerie sera plus longue; le tirage des mines se faisant pendant que les machines ne fonctionnent pas, il faudra, sans doute, injecter de l'air. Pour les petits souterrains, il n'y aurait pas, à coup sûr, à s'en préoccuper.

En somme, on n'aurait donc besoin que de comprimer par 24 heures 6250^{m3} de un à six atmosphères. En tenant compte des pertes diverses, des injections d'air nécessaires pendant le tirage des mines, il me paraît indispensable de comprimer par 24 heures 8000^{m3} d'air libre, soit 0^{m3},092 par seconde; ce qui demande une force théorique de 23 chevaux (1).

Conduite d'air

La conduite d'air comprimé est formée de tuyaux en fonte de 0^{m},20 de diamètre intérieur et de 0^{m},01 d'épaisseur; ils s'assem-

(1) Il ne faudrait pas, en partant de la comparaison de ces chiffres avec ceux qui semblent résulter de la pratique, conclure à une fausse évaluation de l'étanchéité des conduites et réservoirs. Un seul compresseur donne en 24 heures 1114^{m3},560 d'air comprimé = 5570^{m3} d'air libre. Les trois compresseurs qui fonctionnent aujourd'hui à la fois peuvent donc fournir 16710^{m3} d'air libre, au lieu de 8000 reconnus nécessaires. Ils ne les donnent pas en réalité, parce qu'ils ne fonctionnent pas d'une manière continue, mais seulement au fur et à mesure des besoins indiqués par le niveau de l'eau dans l'intérieur des réservoirs.

Ces mêmes chiffres montrent combien on est en mesure à Bardonnèche de parer à toutes les éventualités. La quantité d'air à comprimer en 24 heures a été évaluée à 8000^{m3}; et la force théorique nécessaire, à 23 chevaux, représentée par une dépense réelle de force de 41 chevaux.

En ce moment on dispose d'une force de 200 chevaux, et on peut comprimer en 24 heures 16710^{m3}. Au besoin en se servant de 5 compresseurs, et les faisant marcher à 5 coups par minutes, on peut comprimer par 24 heures 46400^{m3} d'air avec une dépense de force de 234 chevaux.

On n'a pas oublié que la puissance motrice dont on peut disposer est de 900 chevaux.

nient au moyen d'écrous serrant fortement dans une gorge tournée x, sur l'extrémité de chaque tuyau (fig. 17), une cordelette de caoutchouc de $0^m,01$ de diamètre.

Il n'est pas facile, avec les moyens actuels, de connaître ni l'étanchéité de cette conduite, ni la perte de charge de l'air dans cette longueur de 1600^m. On ne dispose à Bardonnèche que de manomètres Desbordes, complétement insuffisants pour des mesures de ce genre. Cependant on a remarqué que la conduite restant fermée, la pression y baisse en 12 heures de 5 atmosphères à $4^{atm.}, 8$.

Quant à la perte de charge, les manomètres indiquant 5 atm. sur les réservoirs, celui placé à l'extrémité de la conduite accuse $4^{atm.}, 9$.

Percusseurs

Les machines perforantes constituent l'invention la plus importante de M. Sommelier, mais aussi la partie la plus compliquée et la plus délicate du système. Je renvoie, pour leur description, aux figures 1, 2 et 3.

Disposition générale. Elles se composent essentiellement d'un cylindre H, où agit l'air comprimé. La tige du piston en traverse les deux plateaux et porte d'un côté une vis qui fait, suivant les besoins, avancer ou reculer le cylindre et tout son mécanisme le long de ses supports, de l'autre elle se termine par une douille dans laquelle s'emmanche le fleuret.

On n'y voit pas, comme dans les machines ordinaires, de bielle, ni d'arbre armé de l'excentrique qui commande la distribution. C'est une autre machine I, absolument identique à une machine à vapeur, qui se charge de donner le mouvement au tiroir, idée bizarre au premier abord, mais éminemment ingénieuse. La distribution devant être et rester parfaitement régu-

lière, il était impossible de songer à faire conduire le tiroir par la machine percutante qui va comme elle peut suivant la dureté de la roche, dont le piston a une course variable avec la position du fleuret dans le trou de mine, ainsi que cela sera expliqué un peu plus loin. Il était donc indispensable d'avoir, pour diriger le tiroir, une machine d'allure parfaitement régulière.

Avant d'aller plus loin, quelques cotes sont indispensables pour donner une idée exacte des dimensions de ces petits appareils.

Tout le système, dont le poids ne dépasse pas 200 kilog., repose sur deux longerons de $0^m,03$ d'épaisseur sur $0^m,05$ de hauteur, et dont l'écartement intérieur est de $0^m,09$; leur longueur est de $2^m,70$. Ils sont entaillés sur leurs faces internes en forme d'écrou dans lequel peut se mouvoir la vis V (fig. 1 et 2), et à l'extrémité de leurs faces inférieures en forme de crémaillère.

Le cylindre de la machine distributrice a $0^m,06$ de diamètre; la course du piston est de $0^m,10$; elle est munie d'une bielle et d'une manivelle, et imprime au moyen d'engrenages un mouvement de rotation à une tige carrée longitudinale T (fig. 2), sur laquelle sont fixés un déclic D dont l'usage sera bientôt expliqué, et un plateau muni d'une came C, qui pousse la tige *t* du tiroir.

Dans la machine percutante, le diamètre du cylindre est de $0^m,06$, la course du piston est, au maximum, de $0^m,20$; elle donne par minute 200 oscillations doubles du piston, c'est-à-dire 200 coups de fleuret.

Mode d'action. Cette machine est à simple effet; la figure 4 fait comprendre sa disposition et le jeu du tiroir. L'air comprimé arrive dans la boîte du tiroir par l'ouverture A; il est en communication constante, par le conduit B, avec la partie antérieure du cylindre. Lors donc que, le piston étant à l'extrémité de sa course arrière, le tiroir ouvre la lumière d'admission *a*, le piston ne s'avance qu'en vertu de la différence de pression de l'air sur sa

face postérieure munie d'une tige mince, et sur sa face antérieure, dont la section est réduite par la grosse tige du porte-outil. Dans les machines actuelles, la force d'impulsion sur le piston est de 95 kil. ; elle sera portée à 150 kil. dans les machines nouvellement commandées.

La contrepression de l'avant empêche les chocs contre le plateau antérieur.

Supposons maintenant que le tiroir poussé par la came C (fig. 2) s'avance et bouche l'ouverture d'admission, l'air qui a agi s'échappe par l'ouverture *b* (fig. 4) qui communique avec l'atmosphère par le vide intérieur du tiroir, et le piston revient sur ses pas par l'effet de la pression constante (40 kilog. environ), qui s'exerce sur sa face antérieure; par suite, d'ailleurs, de la position de l'ouverture d'échappement *b*, il reste à l'arrière une colonne d'air emprisonnée formant matelas, comme dans la course précédente, et évitant les chocs.

A ce moment, le tiroir, abandonné par la came C, est repoussé brusquement à sa position initiale par la différence de pression qui s'exerce sur ses deux faces, et démasque brusquement la lumière d'admission.

Mouvements du percusseur. L'ensemble de la machine, une fois fixé par ses longerons sur un bâtis roulant qu'on approche du front de taille, y reste à demeure; il faut donc qu'à mesure que le fleuret s'enfonce dans la roche le piston qui le fait mouvoir, c'est-à-dire la machine percutante, s'avance sur ses longerons avec toutes les pièces qui lui communiquent le mouvement; il faut aussi, pour faciliter l'action du fleuret, qu'il tourne à chaque coup dans le trou de mine. Ces deux mouvements s'obtiennent de la manière suivante :

1° *Rotation du fleuret.* A chaque coup de la tige carrée T, mue par la machine distributrice, le déclic D fait avancer d'une dent la roue à rochet R, fixée invariablement sur le prolongement

arrière de la tige *t* du piston. Cette roue est munie de 16 dents, de sorte qu'après seize coups du fleuret l'ensemble du rochet, du piston et du fleuret a fait une révolution complète.

2° *Avancement du fleuret.* Si la vis V, constamment engagée dans son écrou formé par les faces internes filetées des longerons, était fixée à demeure sur la tige T', il arriverait que, tous les seize coups du fleuret, elle ferait avancer le cylindre d'une quantité égale à son pas. Il faut au contraire qu'il n'avance que suivant les besoins, à mesure que le fleuret s'enfonce dans la roche ; aussi la vis V est-elle folle sur cette tige, et ne tourne-t-elle que lorsque le manchon d'embrayage M vient la saisir ; il y est poussé sans cesse par l'action du ressort à boudin N, mais il est retenu par une pièce dont il me reste à faire connaître le jeu (fig. 2).

La tige F porte à son extrémité antérieure : 1° une fourchette dont les dents buttent contre celles de la crémaillère pratiquée à la partie inférieure des longerons ; 2° un prolongement Q terminé par un appendice demi-circulaire.

Tant que le fleuret atteint le fond du trou, les choses restent en cet état, mais quand celui-ci s'est approfondi, et que, le piston arrivant à l'extrémité de sa course, le fleuret en touche à peine le fond, un buttoir R, fixé sur la tige du porte-outil (fig. 1) vient battre l'appendice Q, et le force à s'abaisser en entraînant avec lui la dent S qui abandonne la crémaillère. Dans ces conditions le manchon d'embrayage M peut obéir à l'action du ressort N; il saisit la vis V et la fait tourner ; par suite, le cylindre percusseur avance jusqu'à ce que la fourchette S soit en prise avec la dent suivante de la crémaillère, et débraie le manchon. Il est inutile de dire que la came C et le déclic D participent à cet avancement qui est égal à l'espacement $0^m,04$ des dents de la crémaillère.

L'outil peut alors frapper le fond du trou, mais il est clair que si, avant ce mouvement, la limite de la course du piston dans le cylindre était de $0^m,20$, elle ne sera plus maintenant que de

0m, 16. C'est là l'irrégularité dans le mouvement que j'invoquais pour justifier l'emploi d'une machine distributrice complétement indépendante (1).

Outillage. Dispositions diverses. Quelques modifications ont été faites à la forme et au jeu des fleurets : le bizeau qui les termine est en forme de Z (fig. 15), la rotation de l'outil se faisant dans le sens de la flèche, pour en faciliter le dégorgement.

L'entraînement des matières broyées est d'ailleurs singulièrement facilité par un jet d'eau dirigé constamment vers le trou de mine.

Le réservoir qui fournit l'eau est en communication avec le tuyau de conduite d'air, et, par conséquent, à une pression de cinq atmosphères.

Le très-grand nombre de coups de fleuret par minute, l'emploi de ce petit artifice qui nettoie constamment le fond du trou, la rotation du fleuret qui lui permet de frapper toujours sur des surfaces fraîches, assurent, avec la rapidité du travail, la bonne conservation de l'outil. Tandis qu'à la main on usait trois fleurets par trou, un seul peut en faire aujourd'hui deux et souvent trois.

Résultats de travail. Quant à la rapidité du travail, on peut admettre qu'en six heures, une machine perce huit à onze trous de 0m,90 de profondeur et de 0m,04 de diamètre (2).

(1) Il est facile de voir que l'inattention des ouvriers ne peut entraîner aucune conséquence fâcheuse.

Les deux machines distributrices et perforantes fonctionnent naturellement en même temps; les deux robinets r et r' (fig. 3) du tuyau d'amenée de l'air doivent être tous les deux ouverts; si par erreur, l'ouvrier n'ouvre que r', sans ouvrir r, rien ne bougera si le tiroir ferme l'admission; s'il l'ouvre, le piston ira presque à l'extrémité de sa course et y restera. Si on n'ouvre que r, sans ouvrir r', l'outil tournera sur lui-même sans battre et sans avancer.

(2) On se sert en général, pour un trou de 0m,90 à un mètre, de 3 outils

Tel est, en effet, le diamètre généralement adopté; on a besoin cependant, comme je vais le dire, de trous plus grands, de $0^m,09$ de diamètre, qui se font aussi facilement avec l'outil (fig. 12), commençant le trou sur $0^m,03$ et ne l'attaquant sur $0^m,09$, que quand le fleuret est enfoncé de $0^m,10$ dans la roche.

Installation du travail

Dimensions de la galerie préparatoire. La petite galerie préparatoire est percée à la partie inférieure du souterrain; les grandes dimensions qu'on lui a données, 4^m de largeur sur 3^m de hauteur, ne sont pas indispensables; il suffit, pour la largeur, d'avoir, de chaque côté de la voie principale de $1^m,50$, $0^m,75$ pour poser de petites voies servant à l'enlèvement des déblais et pour surveiller la marche des machines; on pourrait donc la réduire à 3^m, mais pas au-dessous, surtout s'il faut boiser. Quant à la hauteur, elle pourrait facilement être réduite à $2^m,50$ et à la rigueur à 2^m.

On paraît disposé au Mont-Cenis à se rapprocher de ces limites; on y gagnera certainement en rapidité d'avancement, mais si l'on tient compte de la difficulté très-grande que présentera plus tard, dans l'élargissement du souterrain, non l'installation des chantiers d'attaque, mais l'organisation d'un système suffisamment rapide d'enlèvement des déblais quand on sera à trois ou quatre kilomètres dans l'intérieur de la montagne, l'avantage de la diminution de section de la petite galerie ne paraît plus aussi évident.

dont les longueurs varient de $0^m,50$ à 2 mètres. On comprend, d'ailleurs, qu'en augmentant la longueur des fleurets on pourrait faire des trous d'une profondeur indéfinie. Bien que la course de la machine soit limitée à $0^m,80$, on va facilement à $1^m,50$. C'est une limite qu'on se propose d'atteindre; reste à savoir s'il y a avantage à employer des trous aussi profonds. L'expérience prononcera.

Installation des percusseurs. Sur la voie centrale peut circuler un chariot assez massif en fer pesant quinze tonnes, auquel on a donné le nom d'*affût*, parce que c'est sur lui que s'installent, de la manière suivante, les huit percusseurs. Entre deux montants verticaux peut se mouvoir un tirant horizontal qu'on fixe au moyen d'une clavette dans une position déterminée (1). C'est sur les appendices de deux de ces tirants, que se boulonnent les longerons des percusseurs. On peut ainsi obtenir avec facilité, par la différence de hauteur des deux tirants, des trous d'une inclinaison quelconque dans un plan vertical, et, grâce à la mobilité des appendices sur les tirants, des inclinaisons quelconques dans un plan horizontal. On ne peut cependant, sans gêner le jeu des autres machines, sans trop restreindre l'espace occupé par les fleurets, espace dans lequel doivent se tenir des hommes, dépasser dans l'obliquité une limite de 50° environ, suffisante, d'ailleurs, à tous les besoins.

Pour percer les trous sur les parois de la galerie, il est nécessaire de placer des machines extérieurement à l'affût. On les fait alors supporter par des tirants extérieurs qui ne sont maintenus entre les montants que par leur épaulement et le fort serrage d'un boulon (fig. 11 et 16). Le peu de poids des machines rend cet encorbellement moins nuisible qu'on ne pourrait le croire au premier abord.

L'affût porte, en outre, deux petits réservoirs, dont l'un reçoit l'air comprimé venant de l'extrémité de la conduite, et l'autre, l'eau pour le nettoyage des trous. Cette eau est enfermée dans des réservoirs en forme de chaudières, portés sur un autre chariot (tender) attelé à l'affût ; elle y reçoit, au moyen d'un tuyau bran-

(1) Il est évident que cette disposition doit être remplacée par l'adoption de grandes vis verticales faisant monter ou descendre les tirants.

ché sur la conduite générale, la pression de cinq atmosphères (1).

Chacun de ces réservoirs porte cinq doubles robinets, de manière à distribuer à dix machines l'air et l'eau qui leur sont nécessaires.

Sauf la conduite générale en fonte, tous les tuyaux de conduite d'air ou d'eau sont en caoutchouc recouvert d'une forte toile; leur diamètre est de $0^m,05$ et leur épaisseur de $0^m,003$; ils font un excellent service.

Attaque de la roche. Les machines une fois installées sur l'affût, celui-ci est poussé assez facilement, malgré son poids, contre le front de taille. On donne l'air, et le travail commence.

La disposition aujourd'hui adoptée est la suivante : Deux machines, fonctionnant à peu près au centre de la galerie, y pratiquent une ligne horizontale A, de douze trous, se composant de huit petits trous de $0^m,03$ de diamètre, et quatre gros de $0^m,09$ (fig. 13).

Les petits seuls reçoivent de la poudre; les gros restent tels quels; ils ne font que pratiquer dans la roche un vide initial qui facilite l'action horizontale des premières mines. Par suite de cette disposition, leur explosion produit une cavité centrale de $0^m,90$ de profondeur, de 1^m à $1^m,30$ de large et d'une hauteur allant parfois à $0^m,50$ et $0^m,60$ et moyennement à $0^m,30$.

Quatre autres machines extérieures à l'affût percent en même temps chacune 9 à 10 trous de $0^m,04$ de diamètre disposés suivant les lignes a et a', b et b' (fig. 10).

Le septième percusseur pratique l'ensemble c des 8 à 9 mines inférieures disposées sur trois lignes, et le huitième l'ensemble d des neuf trous supérieurs.

(1) La quantité d'eau nécessaire à ce nettoyage est d'environ 3^{m3} pour six heures de travail et pour 70 trous. C'est une dépense d'eau d'environ 40 litres par trou.

On a donc ainsi, en six heures de travail, criblé la roche de 65 à 70 trous de $0^m,90$ de profondeur.

Tirage des mines. L'affût est alors retiré en arrière pour être à l'abri des projections, et l'on charge les mines de cartouches de $0^m,30$ environ de longueur (1); la rangée A est d'abord tirée seule, et, après le déblai du vide produit par l'explosion, les mines des rangées *a a'*, *b b'*, sont chargées avec des mèches d'autant plus longues qu'elles sont plus éloignées du vide central. Enfin le groupe *d* est tiré dans les mêmes conditions; quant au groupe *c*, il ne l'est qu'après l'enlèvement total des débris.

Le succès de cette méthode est complet; la roche est broyée sur $0^m,90$ de profondeur en morceaux qui ne dépassent pas trois à quatre décimètres cubes, très-faciles à charger dans des wagonnets.

Résultats comparés à ceux de la méthode ordinaire

Quatre heures sont nécessaires pour le tirage des mines et l'enlèvement des déblais; on peut donc compter aujourd'hui sur un avancement de $0^m,90$ en dix heures, et, dans quelques jours, quand le travail sera continu avec deux postes de douze heures, on peut être certain, en poussant les trous à 1^m, d'un avancement de 2 mètres qui sera facilement dépassé. Je ne crois rien exagérer en disant que, dans quelques mois, quand le personnel sera mieux formé encore, les machines rendues plus puissantes, l'enlèvement des déblais mieux organisé, on pourra atteindre un avancement normal de $2^m,50$ à 3 mètres.

(1) Pour nettoyer les trous, on y introduit, au moyen d'une lance, un jet d'air comprimé qui chasse l'eau et la boue; il ne reste plus qu'à l'essuyer avec un chiffon. L'ensemble de tous ces détails est pour beaucoup dans la rapidité du travail.

On peut facilement apprécier la valeur de ces résultats. Sur les 750 mètres percés du côté de Bardonnèche, 700 mètres ont été faits à la main, en travaillant sur toute la section du tunnel avec trois postes de huit heures.

L'avancement moyen a été de $0^m,90$ en 24 heures dans une roche qui n'a de mauvais que son hétérogénéité; c'est un calcaire noir assez régulièrement stratifié de l'est à l'ouest, avec une inclinaison de 15° vers le nord (1), parfois compacte, parfois schisteux à la façon des ardoises; tantôt pur, et traversé seulement par des veines de calcaire blanc, souvent très-imprégné de quartz, surtout vers l'avancement.

D'après ces résultats je ne pense pas qu'on puisse évaluer à plus de $0^m,70$ l'avancement en petite galerie. Le système de perforation mécanique marche donc trois plus vite que le système ordinaire; il ira sans doute bientôt plus rapidement encore.

Personnel nécessaire

Les difficultés assez grandes que l'on a éprouvées à former un personnel à la manœuvre de ces machines, nouvelles pour tout le monde, sont la principale raison du retard qu'a éprouvé l'installation régulière du travail continu. Ces difficultés sont maintenant surmontées, et l'on peut évaluer comme suit le personnel total nécessaire à l'entreprise. (Je ne parle que du percement de la petite galerie.)

1° Galerie. Il faut un homme pour deux machines, pour guider les outils au commencement, les changer, etc., de même un homme pour deux machines, pour en surveiller la marche,

(1) Si l'on peut se rapporter aux indications de la surface, on aura dans toute la moitié italienne du tunnel le même terrain qui affleure à la surface depuis son origine jusqu'à l'observatoire qui en marque le milieu.

soit en tout, pour 24 heures (deux postes).	16	hommes.
2° mineurs, en même temps boiseurs, pour le chargement et le tirage des mines, travaillant deux heures par poste seulement.	2	id.
8 manœuvres pour l'enlèvement des déblais, faisant comme les mineurs partie de tous les postes.	8	id.
1 surveillant au moins par poste. . .	2	id.
Soit pour la galerie,	28	hommes.
2° Compresseurs. Il faut un chef mécanicien, quatre ouvriers de jour et quatre de nuit, pour surveiller la manœuvre et faire les réparations nécessaires, les nettoyages aux appareils ne marchant pas, etc.	9	id.
3° Ateliers. Le travail principal sera celui des forges pour confection, réparation et entretien des outils et pièces en fer de machines, six ou sept feux seront nécessaires.	14	id.
Les ajusteurs feront aux machines les réparations et les modifications nécessaires. On peut en évaluer le nombre, en y comprenant deux tourneurs et un chaudronnier, à	10	id.
4° Canal. Un homme au réservoir supérieur obéissant aux ordres reçus de l'atelier des compresseurs.	1	id.
Le garde pour l'entretien et le nettoyage du canal.	1	id.
Total général. . . .	63	hommes.

Je ne pense pas qu'à Bardonnèche on emploie moins de soixante

ouvriers, auxquels il faudra ajouter les mineurs, manœuvres et maçons chargés de l'élargisssement du souterrain.

Approvisionnements de matériel. Le magasin de pièces de rechange pourrait être réduit à fort peu de chose, surtout avec l'énorme approvisionnement de machines qui existe aujourd'hui (60 environ, pour 8 fonctionnant); il ne serait sans doute pas nécessaire d'en avoir plus de 12 à 15, cela suffirait pour assurer la réparation des machines avariées sans interrompre le travail.

Il sera bon d'avoir quelques-unes des pièces les plus difficiles à fabriquer (cylindres, vis, tiroirs), pour entretenir constamment les 15 machines en état de marcher immédiatement.

Pour les compresseurs, leur nombre très-supérieur aux besoins réels permettra toujours d'attendre de Seraing les pièces de renouvellement; il sera bon d'avoir sous la main quelques chapelles d'admission, des soupapes, en un mot les pièces sujettes soit à des ruptures, soit à des usures plus ou moins rapides.

Travaux de Modane. Je dois dire maintenant quelques mots des travaux de Modane.

Le souterrain y a été poussé par les moyens ordinaires jusqu'à une longueur de 600 mètres. Ce n'est guère que dans quatre mois que les machines seront prêtes à fonctionner.

Le premier projet était d'y faire une installation identique à celle de Bardonnèche; la pente rapide des torrents qui affluent dans la vallée de l'Arc semblait le rendre facile. Cependant, soit que ces eaux gèlent pendant l'hiver, soit qu'elles soient trop rares pendant l'été, on s'est arrêté à l'idée singulière d'élever au moyen de 6 roues à augets de 6^m de diamètre et 4^m de largeur, mues par une dérivation de l'Arc, les eaux de cette rivière dans un réservoir situé à 26^m au-dessus de la soupape de vidange et fournissant l'eau à 10 compresseurs.

Nouveau compresseur. C'est pendant l'exécution de ce projet, qui sera bientôt terminée, que M. Sommelier eut l'idée d'un nou-

veau compresseur destiné évidemment par sa simplicité à remplacer les anciens, dans les applications ultérieures qui pourront être faites du système. Deux roues hydrauliques feront mouvoir quatre de ces appareils, les quatre autres mettront en mouvement huit pompes élévatoires à double effet.

Le compresseur se compose (figure 5) d'un cylindre horizontal plein d'eau, dans lequel se meut un piston, et de deux cylindres verticaux recevant l'air, et munis chacun de deux soupapes S et S′ s'ouvrant en sens opposé. Ces soupapes sont constamment noyées par un filet d'eau tombant d'un réservoir supérieur. Le piston marchant vers la droite, la soupape S s'ouvre, et laisse entrer dans le cylindre A, non seulement de l'air, mais la petite quantité d'eau qui la recouvrait, de sorte qu'à l'oscillation suivante le piston devra chasser hors de l'appareil, outre l'air qui remplit A, le petit excès d'eau qui s'est introduit par S. On est sûr, de cette manière, que tout l'air est refoulé hors du compresseur.

On ne peut connaître *à priori* l'effet utile de cet appareil, dans lequel on ne saurait apprécier les résistances passives avec une suffisante exactitude.

On peut tout au moins évaluer la quantité d'air qu'il peut fournir; le piston reçoit son mouvement d'un excentrique calé directement sur l'arbre de la roue hydraulique. Si l'on admet que cette roue de 6 mètres de diamètre tournera avec une vitesse à la circonférence de 3 mètres par seconde, on obtiendra un tour complet, c'est-à-dire une double oscillation du piston, en 6″. Le diamètre du piston est de 0^{m}, 50^{c}; la course, de 1^{m}, 50 environ; il décrit donc 0^{m},50 par seconde et refoule par conséquent, dans ce temps, un volume égal à 0^{m3},098, ou, par 24 heures, 8467^{m3} d'air libre.

Dans ces conditions, s'il n'y avait perte ni dans les réservoirs, ni dans la conduite, un seul compresseur suffirait au travail.

Les machines auront affaire ici à une roche beaucoup plus mauvaise qu'à Bardonnèche. Le calcaire y a disparu entièrement, et l'on ne rencontre que des grès toujours noirâtres passant du grès à gros grains, analogue au grès houiller, aux ardoises et aux quartzites micacés. Les inventeurs pensent que la supériorité du travail mécanique sur celui à la main sera d'autant plus grande que la roche sera plus dure; cela n'a rien d'improbable à cause des nombreux artifices employés pour faciliter l'action de l'outil sur la roche : mais il est nécessaire, avant de se prononcer, d'attendre les résultats de cette intéressante expérience.

Frais d'installation a Bardonnèche. J'arrive enfin à l'évaluation approximative des dépenses d'installation à Bardonnèche; je la ferai suivre d'un devis des frais qui me paraissent strictement nécessaires à une installation moins grandiose, dans des contrées où l'on n'aura pas à sa disposition une force motrice naturelle.

Les dépenses se classeront en deux catégories : machines et bâtiments.

1° Machines. Un compresseur coûte, d'après les renseignements que l'on m'a donnés, 120,000 francs, rendu à Bardonnèche et mis en place; j'admettrai ce prix, quoiqu'il me paraisse bien élevé; il constitue pour dix compresseurs une dépense de. . . . . 1,200,000 fr.

Conduite d'air, double conduite de six kilomètres soit 12000^{m} de tuyaux; cela représente, pose comprise, à 20 fr. le mètre. . .	240,000
Les transports ne coûtent pas moins de 80 fr. par tonne, pour 720 tonnes, ci. . .	57,000
Perforateurs. 50 machines à 2,000 fr. l'une.	100,000
Affût, tender, robinetterie, tuyaux de caoutchouc, etc.	50,000
Total . . .	1,627,000

2° Batiments. Pour les constructions (je ne parle que de celles nécessitées par le nouveau système de forage employé) on peut en estimer ainsi la valeur :

Canal, 3 kilomètres avec réservoir et bassin d'épuration.	50,000 fr.
Bâtiments des compresseurs et ateliers. . .	50,000
Machines-outils, forges, etc., y compris le transport.	13,000
Total. . . .	113,000
Total général.	1,740,000 fr.

Il faut un travail de cette importance pour qu'on puisse se permettre un luxe semblable. Remarquons, au reste, que ces dépenses de premier établissement, dont les compresseurs forment la part principale, auraient été très-notablement réduites par l'emploi de ceux que l'on vient d'installer à Modane.

Devis des dépenses nécessaires. C'est dans cette hypothèse que j'essaierai d'établir les frais qui me paraissent strictement nécessaires pour une tête de souterrain : je ne parle que des dépenses spécialement nécessitées par l'application du nouveau système.

1° *Moteurs*. On a vu (page 300), que la force théorique nécessaire pour comprimer les 8,000^{m3} d'air dont on a besoin par 24 heures, était de 23 chevaux. En tenant compte des résistances du compresseur, et, pour remédier d'ailleurs aux fuites d'air, donner le mouvement aux petites machines des ateliers et se tenir en garde contre toutes les éventualités, j'admettrai qu'une machine de 40 chevaux est nécessaire ; son prix, chaudière comprise est de. . . . . 40,000 fr.

2° *Compresseurs*. D'après ce qui a été dit

A reporter. . . . 40,000 fr.

Report. . . . 40,000 fr.

(page 314) un seul des compresseurs de Modane, ou de tout autre du même système, dont le cylindre aurait 0m,50 de diamètre, la vitesse du piston étant de 0m,50 par seconde, donnerait la quantité d'air suffisante; on peut donc se contenter de deux appareils de ce genre, dont j'évalue le prix à. . 10,000

3° *Réservoir d'air* de 40m3 de capacité. . . . 4,000

4° *Conduite d'air*, si l'on se contente d'une conduite simple, 600m de tuyaux de 0m,20, à 20 fr. le mètre. 12,000

5° *Perforateurs* : pour 8 fonctionnant, il est nécessaire d'en avoir 15, à 2,000 fr. l'un (prix qui pourrait être certainement réduit de moitié). 30,000

Affût, réservoir d'eau, robinetterie, tuyaux. . 25,000

6° *Bâtiment* pour la machine et les compresseurs, ateliers. 20,000

7° *Machines-outils, forges, etc.* 10,000

8° A ceci j'ajouterai une dépense qui semblerait rentrer plus naturellement dans les dépenses d'exploitation, la valeur du combustible consommé; c'est un élément du moteur qu'il faut cependant évaluer, de même qu'il aurait fallu compter à Bardonnèche le prix de la force concédée, si elle ne l'avait été gratuitement. Or en évaluant pour un souterrain de 700m, comme celui qu'il s'agit de percer en Espagne, l'avancement à 2m par jour, le moteur devra marcher 175 jours en consommant 4 kilog. de charbon par cheval et par heure; cela représente une dépense

A reporter. . . 151,000 fr.

Report. . . .	151,000 fr.
de combustible de 670 tonnes à 60 fr. la tonne.	40,000
La totalité des dépenses entraînées par l'adoption du nouveau système sera donc, pour une êtendue de.	191,000 fr.

Il faut ajouter les frais de transport de ce matériel de l'usine au souterrain et ceux de montage.

Achèvement du souterrain. Les ingénieurs italiens ne semblent pas décidés à appliquer à l'élargissement du souterrain le système mécanique qui s'y prêterait fort bien, sans grande modification des dispositions actuelles, au moins pour l'enlèvement de la zône inférieure de 3^m de haut sur $7^m,60$ de large (fig. 9). La question est délicate, en effet, et mérite d'être étudiée de près.

Le but qu'il faut atteindre est de faire marcher, par l'emploi des machines ou par les moyens ordinaires, l'élargissement du souterrain, de front avec la galerie préparatoire, de manière que les deux travaux s'achèvent à peu près en même temps.

On peut y arriver par les deux méthodes : par les moyens mécaniques, c'est évident *à priori*; par les moyens ordinaires ; une fois la galerie préparatoire suffisamment avancée, on pourra ouvrir en arrière un nombre pour ainsi dire infini de chantiers, et, avec un nombre suffisant d'ouvriers, pousser les travaux d'élargissement aussi vite que l'on voudra. C'est donc la seule question de prix de revient qui doit décider du choix à faire entre les deux systèmes.

Choix du système a employer. L'évaluation du prix de revient du mètre d'avancement, dans le nouveau système, me semble, pour le moment, tout à fait impossible, mais la question devient plus abordable si on la restreint au seul élargissement du souterrain, travail dont il faut d'abord estimer l'importance.

Le volume total des déblais à enlever, en supposant qu'on

augmente de $0^{m},50$ de chaque côté pour faire le muraillement la dimension type de la galerie, est de 48^{m3} par mètre courant, soit $240,000^{m3}$ pour les $5,000^{m}$ qui restent à faire : le volume de la petite galerie est de $60,000^{m3}$; il reste donc à enlever, pour achever le souterrain, $180,000^{m3}$, ou, en moyenne, $30,000^{m3}$ par an, si l'on admet que le percement de la galerie préparatoire sera achevé en six ans.

Ceci posé, dans la comparaison des deux méthodes (au point de vue exclusif de l'abattage), il n'y a pas à tenir compte, pour le nouveau système, des frais d'installation que l'on imputera exclusivement au percement de la galerie préparatoire. Les seules dépenses à considérer seront donc :

Pour le nouveau système :

Achat des machines ;
Entretien id.
Main-d'œuvre ;
Entretien de l'outillage.

Pour le système ordinaire :

Main-d'œuvre ;
Entretien de l'outillage.

Dans le système de perforation mécanique, en admettant qu'un groupe de huit machines, produisant aujourd'hui en galerie 24^{m3} de déblais en 24 heures, en produise 30 dans un chantier, on arriverait à enlever $30,000^{m3}$ par an, par l'emploi de trois nouveaux groupes de percusseurs.

Les dépenses (définies ci-dessus), qui résulteraient de l'adoption de ce système, peuvent alors être ainsi grossièrement évaluées :

1° *Main-d'œuvre.* Chaque groupe de machines occupe en

24 heures 28 ouvriers payés environ 80 francs; c'est donc une dépense, pour les 3 groupes et 6 années de travail, de 452,000

Dans les ateliers, j'estime qu'une trentaine d'ouvriers suffiront à l'entretien des machines qui auront de moins en moins besoin de réparations; il en résulte une dépense de 90 fr. par jour; soit pour 6 ans, . . . 162,000 } 614,000

2° *Achat de machines.* 45 percusseurs. 90,000

3 affûts avec tenders, tuyaux, robinetterie, etc. . . . . 75,000 } 165,000

3° *Entretien des machines.* On ne peut encore avoir aucune donnée sur ce point; j'adopterai donc un nombre qui se rapproche de ceux fournis par les ateliers de chemins de fer, et j'évaluerai la dépense d'entretien (main-d'œuvre non comprise) à une fois et demie cette main-d'œuvre estimée plus haut à 162,000 fr.; j'arrive alors au chiffre à peu près arbitraire, comme on le voit, de 250,000

4° *Entretien de l'outillage.* J'admettrai qu'il sera moitié plus faible que dans la méthode ordinaire (voir plus loin); je le fixerai, par suite, à 150,000

TOTAL. . . 1,179,000

Dans le système ordinaire les dépenses pourront être évaluées comme suit :

1° *Main-d'œuvre.* Pour avoir le nombre de mineurs nécessaires, je m'appuierai sur les faits constatés précédemment; avec 100 mineurs, divisés en trois postes, on a fait, avec un avance-

ment moyen de 0m,90 en 24 heures, 700 mètres de tunnel. On a donc enlevé, en 800 jours de travail effectif, 33,600 mètres cubes de remblais; c'est à peu près le travail qu'il s'agit de faire dorénavant en une année, c'est-à-dire en 300 jours de travail effectif. Il faudra donc, pour y arriver, employer environ 250 mineurs qui représentent, pour 6 années, une dépense de 1,290,000 fr.

2° *Entretien des outils*. On peut l'évaluer grossièrement à 0,70 c. par homme et par jour,

soit 50,000 fr. par an, et pour 6 ans. . . . 300,000 fr.

1,590,000

L'avantage me semble donc rester au système de perforation mécanique, malgré la difficulté que l'on trouvera peut-être dans l'installation des machines, quand il s'agira d'attaquer la partie supérieure du souterrain. La galerie préparatoire, placée fort avantageusement au niveau du sol du tunnel, dans son exécution par les procédés ordinaires, serait sans doute mieux placée, sous le rapport de l'installation ultérieure des chantiers, au sommet du souterrain.

Difficultés d'organiser l'enlèvement des déblais. Quel que soit, au surplus, le système adopté, on va se trouver aux prises avec une difficulté qui domine aujourd'hui toutes les autres, celle de l'enlèvement des déblais. Dans les souterrains ordinaires, les puits ne servent pas seulement à augmenter le nombre des attaques, mais encore et surtout, à sortir les déblais. Or, si l'on se reporte aux difficultés toujours grandes de transporter les déblais des chantiers au fond du puits, au milieu des échafaudages disposés pour les maçonneries, des pierres et matériaux en approvisionnement, etc., on se fera une idée des difficultés immenses, à mon avis, que l'on éprouvera à sortir, au milieu des mêmes embarras, par une seule tête, 100 mètres cubes de déblais par jour, surtout quand on sera à une grande profondeur.

Cette question s'est déjà présentée sur une petite échelle, et n'a pas été résolue d'une manière satisfaisante dans le percement de la petite galerie. Après sept heures de fonctionnement des percusseurs, on est privé de leur service pendant cinq heures, consacrées : deux au tirage des mines (c'est une perte de temps qu'il faut nécessairement subir), et trois à l'enlèvement des déblais. C'est une perte de trois heures sur douze, qu'on n'a en ce moment aucun moyen d'éviter. Il semble cependant qu'on pourrait le faire, soit en combinant l'enlèvement des déblais avec la marche des machines, soit en amenant auprès du front de taille une sorte de caisse basse et large qui recevrait la plus grande partie des déblais, projetés, en général, à une très-faible distance, et dont l'enlèvement se ferait, alors, avec une grande rapidité.

Quoi qu'il en soit, il est de la plus urgente nécessité, si l'on veut tirer de la machine nouvelle tout le parti possible, de la compléter par un système également nouveau et d'une rapidité correspondante pour l'enlèvement des déblais. La méthode actuelle est déjà mauvaise pour la petite galerie; elle conduira, quand il s'agira de l'élargissement, à des complications inextricables dans l'organisation du système des transports.

CONCLUSION

Les détails dans lesquels je suis entré permettront, je pense, de résoudre toutes les questions qui se rattachent à l'application éventuelle du nouveau système aux travaux des chemins de fer du Nord de l'Espagne; je résumerai brièvement les données auxquelles je suis arrivé.

Dans les roches de dureté moyenne, on peut compter sur un avancement de trois à quatre fois plus rapide qu'avec les moyens ordinaires.

Le même avantage se conservera probablement dans les roches très-dures, mais enfin l'expérience n'est pas faite. Ce ne serait évidemment pas aux chemins de fer du Nord à la tenter, s'il n'avaient à percer que des petits souterrains dans un granit très-dur.

Les frais d'acquisition des appareils, construction des bâtiments, etc., me paraissent pouvoir être évalués au plus à 160,000 francs, pour une seule tête; il faut y ajouter les frais de transport et de montage des appareils.

Le haut prix des combustibles n'est pas, comme on pourrait le croire au premier abord, une raison d'exclusion, puisqu'on n'a besoin, au moins pour le percement de la galerie préparatoire, que d'un moteur de quarante chevaux. La dépense qui en résulterait en Espagne pour le percement de cette galerie, sur une longueur de 350 mètres, peut être évaluée à 40,000 francs environ.

Il reste maintenant à bien étudier si, en tenant compte du temps nécessaire pour commander, recevoir et monter ces appareils, pour former à leur maniement deux brigades d'ouvriers, on retirera de l'emploi de ce système un surcroît de rapidité dans les travaux, en rapport avec le surcroît de dépenses que l'on se sera imposé; et, en outre, à mettre ces frais en balance avec l'intérêt que l'on a à pousser activement les travaux.

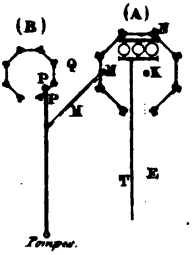
Ce sont des questions qui demandent une connaissance complète des lieux et des choses, et pour la solution desquelles j'ai dû chercher seulement à rassembler tous les éléments nécessaires.

Marseille, Juin 1861.

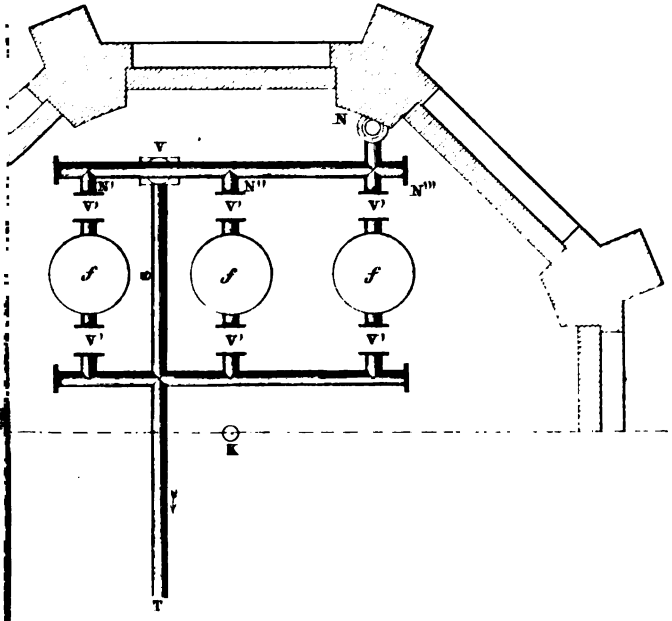
Toute reproduction de ce rapport est interdite sans l'autorisation de l'auteur.

2306. — Typ. de GUIRAUDET, 2, place de la Mairie, à Neuilly.

Plan d'ensemble. Ech.: de 0,001

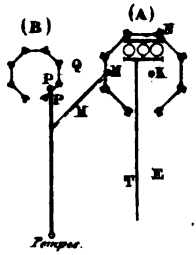


Plan du réservoir A. *Disposition des filtres.*

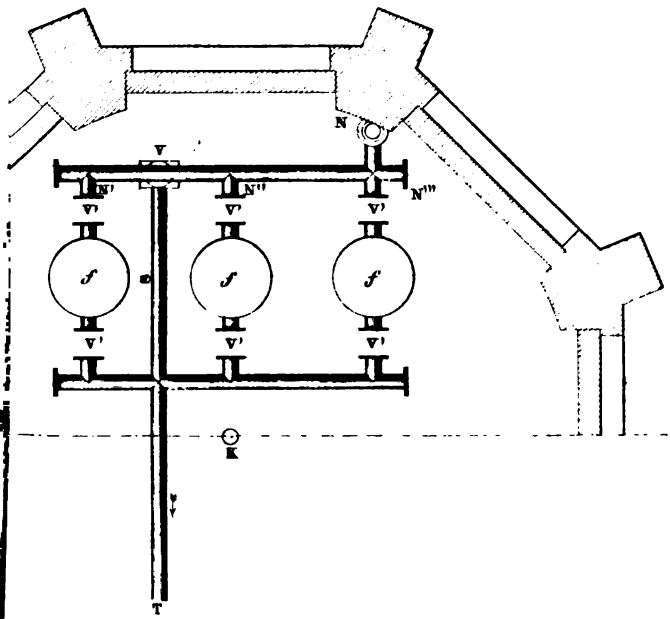


Etabl.t typ.ie de L. Voblet, Edi

Plan d'ensemble. Ech.: de 0,001



Plan du réservoir A. Disposition des filtres.



Etabl.t et imp.ie de E. Veblet, Editeur

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JUILLET, AOUT ET SEPTEMBRE 1861)

N° 15

Pendant ce trimestre en a traité les questions suivantes :

1° *Percement du Mont-Cenis;* (voir les résumés des séances du 5 juillet, et 6 septembre, pages 329 et 337.)

2° *Epuration des eaux incrustantes pour l'alimentation des chaudières à vapeur,* par M. Chavès; (voir le résumé de la séance du 5 juillet, page 329.)

3° *Utilisation des routes pour l'établissement des chemins de fer économiques,* par MM. Molinos et Pronnier; (voir les résumés des séances des 5 juillet, 2 août et 6 septembre, pages 330, 331 et 338.)

4° *Fabrication des tissus épais*, par M. Imbs, communication de M. Emile Barrault; (voir le résumé de la séance du 2 août, page 335).

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° Un exemplaire de la 2e livraison de 1860 du *Bulletin de la Société Minérale;*

2° Les nos de juillet, août et septembre du *Bulletin de la Presse Scientifique des deux Mondes;*

3° De M. César Daly, les nos 1, 2 et 3 de la *Revue d'Architecture;*

4° De M. Houlbrat, membre de la Société, un exemplaire d'un *Tableau indiquant, d'une manière graphique, les poids et les valeurs des divers matériaux nécessaires à la construction des ponts métalliques à une seule travée;*

5° De MM. Molinos et Pronnier, un mémoire sur l'*Etablissement d'un chemin de fer sur une route départementale;*

6° De M. Oppermann, les nos de juillet, août et septembre, des *Nouvelles annales de la construction*, et du *Portefeuille économique des machines;*

7° De M. Le Châtelier, ingénieur en chef des Mines, un *rapport* de M. Noblemaire, ingénieur des Mines, *sur le percement du Mont Cenis;*

8° Les nos de juin, juillet et août, des *Annales des Conducteurs des Ponts-et-Chaussées;*

9° Le n° de janvier 1861 du *Bulletin de l'Institution of Mechanical Engineers;*

10° De M. Maréchal, membre de la Société, deux exemplaires de sa *Notice sur l'emploi de l'air comprimé au fonçage des piles et culées du pont de Kehl sur le Rhin;*

11° De M. Desnos, membre de la Société, les nos de juillet, août et septembre du Journal l'*Invention;*

12° De M. Dallot, membre de la Société, une *Note sur la description du pont de l'Escaut à Audenarde* (*chemin de fer Hainaut et Flandres*);

13° Les nos de mai, juin et juillet du *Bulletin de la Société d'Encouragement;*

14° De M. Cazes, membre de la Société, un *Mémoire sur la fabrication de la fonte;*

15° De M. Griveau, des exemplaires de sa *Table de Pythagore de 1 à 1,000,000*;

16° De M. de Blonay, membre de la Société, une *Note sur le système des chemins de fer vicinaux du Bas-Rhin;*

17° De la Société des *anciens Elèves des Ecoles des Arts et Métiers*, un exemplaire de son *Annuaire de* 1861.

Les membres nouvellement élus sont les suivants :

Au mois de juillet :

MM. de Fernex, présenté par MM. Flachat (Eugène), Priestley et Desmousseaux de Givré.

O'Brien, présenté par MM. Faure, Faliès et Perdonnet.

Jucqueau, présenté par MM. Caillé, Estoublon et Richoux.

Letellier, présenté par MM. Alquié, Chavès et Donnay.

Au mois d'août :

MM. Monthiers, présenté par MM. Mignon, Pepin Lehalleur et Rouart.

Verdier, présenté par MM. Alcan, Bourgougnon et Flachat.

RÉSUMÉ DES PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT LE 3e TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1861

SÉANCE DU 5 JUILLET 1861

Présidence de M. Eugène FLACHAT

M. LE PRÉSIDENT annonce qu'il fera mettre à l'ordre du jour de la prochaine séance la lecture d'un rapport adressé à la Cie des chemins de fer du nord de l'Espagne, par M. Noblemaire, ingénieur des Mines, chargé d'étudier les procédés récemment appliqués au percement du Mont-Cenis.

Les appareils à air comprimé, compresseurs et perforateurs, sont décrits, dans ce rapport, avec une grande clarté, et le succès de leur fonctionnement ajoute à l'intérêt de cette description.

Il y a lieu de conclure, du rapport de M. Noblemaire, que ces instruments sont désormais appelés à prendre rang parmi les procédés les plus efficaces de l'art du mineur. A ce titre ils se recommandent aux ingénieurs, à la fois comme emploi de force motrice par l'air comprimé dans des circonstances et pour des usages analogues, et comme moyen rapide et économique de perforer les roches dures.

La Société décide, sur la proposition de M. le président, que ce Rapport sera imprimé et distribué avant la prochaine séance.

M. CHAVÈS donne lecture de son mémoire sur l'épuration des eaux incrustantes, pour l'alimentation des chaudières à vapeur.

Il dit qu'on avait affaire à des eaux essentiellement chargées de bi-carbonate de chaux, et que l'on a pu, par les procédés suivants, réduire de 32 à 8, leur degré hydrotimétrique.

Ces procédés, basés sur l'action de la chaux, comprennent plusieurs opérations partielles, qui sont : le dosage préalable de la quantité de chaux nécessaire, la préparation du lait de chaux, le mélange de ce lait à l'eau à épurer, la décantation et le filtrage.

Il présente quelques considérations sur ces diverses opérations, et notamment sur le mélange du lait à l'eau à épurer, et sur le filtrage.

Il dit que l'eau non filtrée paraît faire cracher les machines, mais que l'emploi des filtres gêne beaucoup l'écoulement de l'eau ; il cite des opéra-

tions faites à ce sujet, il termine en donnant la dépense nécessaire pour épurer 1 mètre d'eau, déduite des frais d'installation et d'entretien d'un appareil pour l'épuration de 200 mètres cubes d'eau par jour.

M. Deligny indique que M. Knab et lui ont essayé le même procédé à Saint-Germain, en 1849, mais que le crachement qui se produisait y a fait renoncer. Il en a été de même à Toury, sur la ligne d'Orléans, et ces deux faits lui paraissent s'expliquer, parce qu'au lieu du filtrage employé au chemin de fer du Nord on se bornait à une simple décantation.

En résumé, le procédé décrit par M. Chavès lui paraît le plus efficace, même pour des eaux séléniteuses, attendu que le carbonate de chaux donne seul des dépôts adhérents.

M. Chobrzynski confirme l'observation qui précède; il a vu employer les mêmes moyens vers 1855 à Aigrefeuille sur la ligne d'Orléans, mais avec des dispositions plus compliquées. Il ajoute que les appareils décrits par M. Chavès ont été employés à Lille, où l'on n'avait que des eaux très-incrustantes, et qu'ils ont pleinement réussi.

M. Chavès donne quelques indications sur les procédés employés à Aigrefeuille.

M. le Président remercie M. Chavès de sa communication qui sera insérée au Bulletin.

M. Molinos donne lecture du Mémoire qu'il a présenté avec M. Pronnier sur la construction des chemins de fer, en empruntant les accotements des routes ordinaires.

Ce travail sera imprimé et distribué pour la discussion.

Quelques observations sont présentées à l'appui des moyens proposés par M. Molinos. On fait remarquer que le système américain, dit rail Loubat, n'a pas résolu la question de l'établissement des chemins de fer sur les routes ou empierrements.

La gorge du rail, dans laquelle passe la saillie de la roue, est continuellement attaquée sur ses bords; de plus elle se remplit des détritus de la chaussée, et cela détermine un frottement si considérable que, d'après les expériences de M. Tresca, la traction s'élevait jusqu'à 18 kil. par tonne, et s'y abaisse rarement, dans les circonstances les plus favorables, au dessous-do 12 kil.

M. Molinos a exactement décrit les inconvénients des rails noyés dans un empierrement, inconvénients qui donnent lieu à des dépenses d'entretien considérables.

Dans les parties pavées, avec le rail à gorge, le roulement est plus facile, le frottement contre les lèvres de la gorge du rail subsiste, mais celui dû à l'écrasement des détritus est évité. Lorsque l'on emploie un rail à table sans gorge dans une chaussée pavée, ce qui est facile en abattant légèrement l'angle du pavé, les deux frottements dus à la gorge du rail et aux détritus disparaissent, et la traction varie entre 4 et 6 kil.; l'entretien est presque nul. Aussi est-il question, aujourd'hui, de paver les voies à $0^m 50$ de chaque côté du rail, et d'y employer des rails à simple table de roulement.

M. Faure ajoute que les voies Loubat, posées dans les routes macadamisées, ont un grave inconvénient au point de vue de la circulation des voitures ordinaires, à cause de la saillie qu'elles présentent souvent. Quant à l'établissement des voies de fer sur les routes, il fait remarquer que cette question a déjà occupé divers ingénieurs, et que M. Love, notamment, en a fait l'objet d'un Mémoire. Parmi les avantages qui résulteraient de ce système, il croit devoir signaler, dès à présent, l'économie du transport des houilles pour la consommation locale.

SÉANCE DU 2 AOUT 1861

Présidence de M. Eugène Flachat

M. Dubied fait observer que, dans le procès-verbal de la séance du 21 juin, les développements qu'il avait donnés à l'opinion émise par lui au sujet des régulateurs n'ont été rapportés qu'incomplétement, et il demande que l'on insère une note dans laquelle il a résumé son opinion aussi succinctement que possible.

Cette note sera intercalée dans la publication trimestrielle des procès-verbaux qui accompagnent le Bulletin de la Société.

Sur la demande du Président, M. Vuigner met à la disposition des membres de la Société 600 exemplaires du plaidoyer prononcé par M. Dufaure, à propos de l'accident dont la responsabilité avait été attribuée à l'ingénieur en chef des travaux et de la surveillance du chemin de fer de l'Est.

Ce plaidoyer est, à tous égards, une œuvre digne du plus sérieux intérêt.

M. Vuigner adresse à la Société une note de M. de Blonay, membre de la Société, sur *le système des chemins de fer vicinaux du Bas-Rhin*.

Il ne peut en être donné lecture en séance, mais il en sera rendu compte à la prochaine réunion, afin que cette note puisse être discutée avec celle de MM. Molinos et Pronnier.

M. le Président croit, avant d'engager la discussion sur le travail de MM. Molinos et Pronnier, devoir rappeler à la Société que cette étude a pour but de répondre à un besoin qui se manifeste de plus en plus par l'accroissement que tend à prendre le mouvement commercial, mouvement qui nécessite le développement des moyens de transport. Les chemins de fer créés jusqu'à ce jour ont coûté des sommes considérables; et, au fur à mesure que de nouvelles lignes se sont construites, les frais d'établissement se sont accrus au point qu'ils cessent d'être en rapport avec le

revenu à en attendre, de sorte que le public, qui, à l'origine, apportait son argent pour concourir à la réalisation de ces entreprises dans lesquelles il voyait un bénéfice assuré, ne veut plus maintenant y prendre part, si ce n'est dans des conditions particulières, telles qu'il soit assuré d'un revenu fixé d'avance et garanti par l'État.

Le projet de MM. Molinos et Pronnier, en réduisant les frais d'établissement à un chiffre très-bas, peut faire rentrer l'exécution des chemins de fer à construire dans des conditions normales de dépense et de revenu.

Toutefois les dispositions proposées sont en dehors de celles suivies jusqu'à ce jour pour l'exécution et l'exploitation des voies ferrées; et le but qu'il s'agit d'atteindre tout d'abord, c'est de convaincre le public de la nécessité et de la possibilité de la réalisation du projet; le gouvernement suivra, sans aucun doute, l'impulsion du sentiment public à cet égard.

Parmi les objections qui peuvent être présentées, l'une des plus sérieuses est celle de la simultanéité de la circulation des machines et des animaux de trait sur les routes.

M. Forquenot ne pense pas qu'il y ait là un inconvénient. La voie du chemin de fer de Nantes à Saint-Nazaire traverse Nantes le long des quais sur une longueur de plusieurs kilomètres; les machines circulent avec une vitesse, réglée par l'administration, supérieure à 16 kilomètres; les passages à niveau sont nombreux; au moment où les trains circulent, on ferme ces passages simplement avec une chaînette. Dans la partie de la ville où le mouvement est le plus considérable, la voie est close par un treillage en fer, fixé sur des montants en fer, le tout défendu par une bordure de trottoir.

Près des cales et des quais verticaux, il n'y a pas de treillage sur un ou deux kilomètres.

Jusqu'à ce jour, aucun accident résultant de ces dispositions n'a été signalé; les flammèches sortant des locomotives n'ont pas eu d'inconvénient.

M. Forquenot pense que la vitesse de 16 kilomètres pourrait être augmentée dans l'exploitation des chemins de fer établis sur routes; car la circulation sur ces routes et sur les chemins transversaux n'est pas comparable à celle des villes.

Un membre rappelle qu'à l'origine le chemin de Saint-Étienne traversait sans clôtures Gisors et Saint-Chamont.

M. Thomas confirme ce fait, et il a vu des enfants jouer sur la voie et se retirer au moment du passage des trains, dont la vitesse était peut-être un peu ralentie.

M. Goschler dit qu'en Belgique il y a beaucoup de chemins sans clôtures; à Bruxelles les gares du Nord et du Midi sont reliées entre-elles par une voie non close qui est établie le long du canal. Les machines circulent sur cette voie, seulement les gardes sont nombreux et jetés de distance en distance. Dès qu'un train est signalé, le garde se met à courir vers le garde voisin, en agitant un drapeau et sonnant du cornet, de manière à avertir les personnes qui sont sur la voie de se retirer. Le deuxième garde en fait de même en se dirigeant sur le troisième et ainsi de suite. Cette voie, qui est établie partie en rails noyés et partie en rails saillants, longe le canal et les quais

très-fréquentés par les promeneurs et le commerce ; elle dessert l'entrepôt et les bassins ; les machines employées sont des machines à marchandises à quatre et six roues couplées, avec échappement. A Berlin, ajoute M. Goschler, une voie, celle qui relie les chemins de fer venant de Cologne d'une part et de Stettin de l'autre, est établie dans les mêmes conditions sur une promenade analogue à nos Champs-Élysées ; la seule précaution prise est que les machines, d'ailleurs précédées comme à Bruxelles d'un garde porte-drapeau, sonnent au moyen d'un timbre, pendant tout le temps qu'elles se trouvent sur la partie de la voie construite sur cette promenade. Il en est encore de même à Dresde, sur la ligne qui réunit les chemins de fer venant de Leipsick d'une part et de Vienne de l'autre.

M. Alcan croit que, dans l'appréciation de ces usages, il faudrait tenir compte du caractère des nations qui les ont adoptées, et il craint que la suppression des clôtures, qui a pu avoir lieu en Belgique sans inconvénient, ne soit une cause d'accidents en France.

M. Faure pense qu'il n'y a là qu'une affaire d'habitude à laquelle le public se ferait rapidement, ce qu'a démontré l'établissement du chemin américain de Paris à Versailles sur lequel circulent des véhicules, auxquels les voitures ordinaires font place dès que le signal se fait entendre.

M. Forquenot appelle l'attention sur un déraillement causé au chemin de fer d'Orléans, par des bestiaux qui, ayant pu s'introduire sur la voie, s'y étaient couchés la nuit ; et à ce point de vue il considère les clôtures comme nécessaires, parce que, dit-il, le sol de la voie étant plus sec que le sol environnant, les bestiaux viennent s'y reposer, et y séjournent sans que le bruit des convois soit capable de les décider à se retirer.

M. Deligny craint au contraire que, dans les conditions où devraient fonctionner les chemins de fer proposés par MM. Molinos et Pronnier, les clôtures ne soient une cause d'accident surtout pour les bestiaux; ceux-ci, étant exposés à chaque instant à s'engager sur la voie par des passages qu'on aurait négligé de fermer, ne sauraient comment sortir de la voie et y seraient forcément broyés par les machines.

M. Alcan, dans un voyage qu'il a fait récemment en Hollande, a vu les bestiaux dans les prairies voisines des chemins de fer non clos, et il s'est laissé dire que jamais il n'en était résulté d'accident.

Un membre fait observer que les cahiers des charges obligent en France les Compagnies à clore les voies; seulement il y a plusieurs sortes de clôture suivant le cas.

Dans les terres de labour les lisses suffisent.

Dans les paccages il faut mettre des clôtures spéciales, c'est-à-dire des clôtures efficaces pour empêcher les animaux, suivant les espèces qui sont dans les paccages, de pénétrer sur la voie, et ces clôtures doivent être changées ou complétées lorsquelles sont insuffisantes pour les animaux amenés dans les paccages. L'Etat et la plupart des Compagnies ont préféré s'exonérer tout d'abord de cette obligation en tenant compte, dans l'indemnité payée pour la clôture du terrain, de la destination que pouvait prendre ultérieurement le terrain suivant le mode d'exploitation, labour ou paccage.

Plusieurs Compagnies de chemin de fer sont assujetties à modifier leurs clôtures parce qu'elles restent responsables de leur efficacité, suivant le mode d'exploitation adopté par le propriétaire riverain.

On croit que, dans l'exécution de projet de MM. Molinos et Pronnier, il faudrait adopter le système de l'Etat.

M. Molinos répond que c'est en effet ce qu'on a compté, et les indemnités à payer ont été estimées en conséquence.

Les chemins de fer économiques doivent être assimilés aux chemins houillers de Belgique, et leur exploitation nécessitera une série de précautions que l'expérience enseignera, mais parmi lesquelles il faut tout d'abord prévoir le ralentissement des trains dans la traversée des villages.

M. Dallot dit que ces chemins ne peuvent être assimilés aux autres lignes. MM. Molinos et Pronnier proposent l'affranchissement des routes en les ouvrant à la circulation des machines, comme elles le sont actuellement, à la circulation des piétons, des voitures et des bestiaux. Il ne voit pas la nécessité de mettre des clôtures, et il n'y a pas de raison pour que les bestiaux se couchent sur les rails plutôt qu'ils ne se couchent sur les routes qu'ils parcourent.

M. Goschler a parcouru une grande partie des chemins de fer allemands; les uns sont clos, les autres ne le sont pas, notamment sur le chemin de Dresde en Silésie où les passages à niveau sont fermés par de simples chaînettes. La plupart des gares sont ouvertes, et le public y pénètre librement; il se répand sur les quais, et il n'y a pas ces encombrements qu'on voit dans les salles d'attente en France; il peut citer à l'appui de ce qu'il avance le chemin de fer de Bâle à Vissembourg, qui exploité à la manière française se soude à ses deux extrémités avec des chemins de fer, ceux du Palatinat et de Suisse, dont les voies et les gares sont ouvertes comme en Belgique et dans le pays de Bade, les jours de grande affluence, sans qu'on ait à déplorer d'accidents.

Un membre fait observer qu'en France l'habitude du public est de s'en remettre à l'administration de tous les soins qui intéressent la sécurité publique et privée, que de plus il y a dans l'opinion un sentiment de suspicion qu'il faut éteindre, mais qu'il ne faut ni oublier ni braver; ce serait faire échouer les vues les plus utiles que de ne pas tenir compte de ces circonstances. C'est donc avec raison que MM. Molinos et Pronnier se sont efforcés de tenir compte des habitudes prises et qu'ils ont rédigé un projet qui devant être soumis à l'administration puisse être accepté par elle. Celle-ci ne se relâchera dans son intervention que lorsque le sentiment public se sera modifié à cet égard.

M. Forquenot à côté des avantages qu'il a signalés pour les clôtures y voit un inconvénient, celui d'empêcher la libre circulation des cultivateurs qui, pour sortir de leurs champs, au lieu de n'avoir à traverser qu'un fossé plus ou moins comblé généralement, seraient forcés de faire des détours pour gagner un passage à niveau. Il faudrait donc en vue d'éviter l'inconvénient de la présence possible des bestiaux sur la voie que les pâturages eux-mêmes soient environnés de clôtures.

M. Mollinos répond que la clôture doit être établie en vue de parer à cet inconvénient; il y aura des ouvertures nombreuses fermées aussi simplement que possible, de manière à se défendre contre les bestiaux, mais non à empêcher la circulation agricole ou industrielle. Il fait remarquer que, si la clôture cause un dommage aux propriétaires riverains, le passage du chemin de fer donnera une plus-value à leur propriété.

La suite de la discussion est ajournée à la prochaine séance.

M. Flachat cède le fauteuil à M. Forquenot.

M. Emile Barrault lit une notice sur la fabrication des tissus épais par M. Imbs, membre de la Société.

MM. Imbs se sont proposés de fabriquer des étoffes épaisses et chaudes au moyen de tissus et de ouates, ou nappes composées dans une proportion quelconque de matières textiles plus ou moins feutrantes, l'assemblage de ces tissus et ouates étant fait par une couture mécanique et complétée par le foulage, de manière à ne composer qu'un corps.

Le moyen qu'ils emploient le plus souvent consiste à placer sur un tissu une ou plusieurs nappes de laine ou autre matière, à les coudre ensemble au moyen d'une machine à piquer inventée par M. Imbs. Le tissu ainsi obtenu est ensuite foulé par les procédés ordinaires, la ouate pénètre les pores du tissu et s'y attache d'une manière inséparable.

Suivant l'article que l'on veut obtenir, on compose le tissu de matières plus ou moins feutrantes, de manière à obtenir, soit un tissu très-uni à la surface et une ouate moëlleuse à l'envers (c'est ce qu'on fait le plus souvent), soit un tissu formant des côtes régulières et une ouate très-ferme à l'intérieur.

Le point de couture se trouve plus ou moins dissimulé par ces combinaisons ainsi que par le degré de foulage.

Ces combinaisons permettent de faire toutes sortes de produits nouveaux ayant l'avantage de présenter d'un côté la solidité d'un tissu et de l'autre le moëlleux et la chaleur d'étoffes non tissées et simplement feutrées. En variant les apprêts et les couleurs sur chacune des faces, on peut obtenir des étoffes réunissant, aussi bien comme aspect que comme qualité, des conditions qui n'ont pu être réalisées jusqu'ici pour différentes fabrications, telles que tapis, tissus pour chaussures, draps, articles de bonneterie, etc.

Jusqu'à ce jour on n'a pu obtenir les tissus épais que par les moyens suivants :

1° Tissage compliqué fait avec d'excellentes matières et coûtant par conséquent très-cher comme main-d'œuvre et comme produit, et ne fournissant que des épaisseurs très-limitées;

2° Feutres nécessitant l'emploi de matières très-feutrantes d'un prix de beaucoup supérieur à celui des matières que MM. Imbs emploient pour confectionner leurs produits.

De plus, à surface et épaisseur égales, les feutres exigent un poids de matière beaucoup plus considérable, par suite de l'extrême concentration qui résulte du feutrage même.

Les tissus de MM. Imbs n'emploient en grande partie que des matières très-bon marché, des déchets de fabrication tels que la bourre de soie, les déchets de laine, les déchets de coton et en général les matières les plus inférieures possible, feutrantes ou non, mais de préférence peu feutrantes.

C'est en effet avec ces matières que l'on constitue les nappes ou ouates qui forment la partie inférieure du tissu, ou au moins sa partie intérieure quand le tissu est à deux faces.

Il est utile que les ouates que l'on superpose aient une tendance feutrante inférieure à celle du tissu qui forme la surface visible, pour que le tissu entraîne les matières dans son retrait afin que la surface extérieure soit lisse et bien nette.

Par suite de leur mode de fabrication, les tissus de MM. Imbs ayant leurs surfaces formées d'un véritable drap sont susceptibles de tous genres d'apprêts qu'il serait impossible de donner aux feutres.

MM. Imbs obtiennent donc un produit bon marché ayant l'apparence de tissus de grande qualité comme solidité et résistance, tout en permettant d'obtenir à volonté de fortes épaisseurs sans grande augmentation de prix de revient.

Quant à l'envers du tissu il peut être formé d'une doublure plus ou moins soignée.

La machine à piquer qui sert à réunir et solidariser les ouates et le tissu présente ce caractère remarquable de coudre simultanément des nappes avec ou sans consistance avec un très-grand nombre d'aiguilles, en constituant un point solide à l'aide de fils de qualité très-ordinaire.

On opère avec deux séries de fils; les premiers, que l'on peut assimiler aux fils de chaîne et dont le nombre peut être quelconque, proviennent d'une série de bobines ou d'un rouleau; les seconds, que nous pourrions appeler fils de trame, passent au moyen d'une longue aiguille dans les boucles que doivent former les premiers.

Les aiguilles qui tiennent les fils de chaîne sont réunies et forment un peigne.

L'avancement de la nappe à piquer se fait d'une manière régulière à chaque fois que les aiguilles du peigne descendent, de telle sorte qu'en remontant les aiguilles rencontrent une nouvelle surface d'étoffe pour y faire un nouveau point. La machine est d'ailleurs disposée de manière à permettre de faire varier exactement des points.

La nappe d'étoffe entraînée par la machine est toujours parfaitement piquée, quel que soit le peu de résistance qu'elle présente, attendu qu'elle est toujours maintenue entre deux guides dont le supérieur est percé de l'orifice nécessaire au passage de l'aiguille de trame: elle se trouve serrée entre deux séries de fils solidaires entre eux, les uns allant dans le sens de sa longueur, les autres dans le sens de sa largeur; cette combinaison donne à la nappe une solidité parfaite sans altérer sa régularité, et la dispose à recevoir sans se déformer toutes les préparations ultérieures.

Pour solidariser un tissu épais du genre le plus commun et le plus difficile 200 points par mètre de longueur suffisent, c'est-à-dire que les points

sont à 5 m/m de distance en longueur; en largeur ils sont espacés de 9 m/m.

Pour de bonnes matières on peut éloigner les points jusqu'à 10 m/m en longueur; les points en largeur restent toujours à la même distance.

Un ouvrier de 15 ans peut produire avec un métier $3^{m}30^{c}$ par heure, pour des tissus à 200 points par mètre ayant depuis 60 centimètres jusqu'à $1^{m}20^{c}$ de largeur.

On peut faire des métiers de $2^{m}50^{c}$ de largeur.

Tandis que les feutres les plus grossiers pour tapis ne peuvent s'exécuter avec des matières dont le prix moyen soit au-dessous de 1 fr. 50 c. le kilogramme, MM. Imbs n'emploient que des matières de déchet dont le prix varie entre 0,50 c. et 60 c. le kilogramme.

SÉANCE DU 6 SEPTEMBRE 1861

Présidence de M. Eugène Flachat

M. le Président annonce à la Société que trois de ses membres MM. Forquenot, Alquié et Wahl, viennent d'être nommés chevaliers de la Légion-d'Honneur.

M. Richoux donne communication, par extrait, d'un rapport adressé à la Compagnie des chemins de fer du Nord de l'Espagne, par M. Noblemaire, ingénieur des mines, sur les appareils à air comprimé employés pour le percement du souterrain du Mont-Cenis.

Ce rapport est inséré *in extenso*, au deuxième bulletin de 1861.

La discussion qui suit la lecture de ce rapport fait ressortir les avantages que l'ingénieuse application de l'air comprimé aux percusseurs peut apporter dans l'industrie générale. D'un côté, le compresseur à piston moteur entre deux eaux résoud les objections auxquelles ont donné lieu les divers systèmes d'obturateurs appliqués à la compression de l'air. Il est simple, d'une exécution et d'une installation faciles et économiques. Quant à l'application de l'air comprimé, à des chocs violents, vifs, très-fréquents, variables en intensité comme en direction, l'appareil Sommelier en résoud avec bonheur toutes les difficultés.

L'application de la vapeur dans ce genre de travail mécanique n'a pas été au-delà du marteau-pilon; la solidarité entre la température et la pression s'est montrée un obstacle insurmontable à l'emploi de la vapeur à distance. D'un autre côté, l'air raréfié exige des appareils trop volumineux et trop pe-

sants. L'air comprimé est donc appelé, désormais, à jouer, sous la forme si heureusement appliquée par M. Sommelier, un rôle important dans l'industrie, et l'on doit se féliciter que la description lucide qu'en a faite M. Noblemaire ait fait ressortir ce que cette découverte a de simple et de rationnel.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion sur le mémoire de MM. Molinos et Pronnier, relatif à l'établissement des chemins de fer sur les accotements des routes ordinaires.

M. Delonchant, ingénieur du chemin de fer, dit américain, de la place de la Concorde à Boulogne et au pont de Sèvres, a déposé une note dont le sujet se rattache à cette discussion et dont il est donné lecture.

L'auteur de cette communication est d'avis que, sur les routes à usage commun, il vaut mieux poser la voie de fer sur le milieu de la chaussée que sur l'un des accotements, afin d'avoir les deux rails au même niveau et de n'avoir pas à créer et à entretenir une chaussée empierrée pour la circulation des chevaux. L'enlèvement des détritus qui remplissent la gorge du rail Loubat est une dépense qu'aucun système ne fera éviter; mais la traction n'est point affectée d'une manière trop sensible par la présence de ces détritus, puisque, sur une route à peu près horizontale, les dernières expériences de M. Tresca indiquent un effort de $6^{k}7$ par tonne (Annales du Conservatoire des Arts et Métiers, n°. 2, octobre 1860). L'effort plus considérable obtenu dans des expériences antérieures était dû à la mauvaise disposition des véhicules. Avec un rail à table saillante et sans gorge métallique, placé dans une chaussée pavée, la conservation de l'ornière donnerait lieu aux même soins de nettoyage, et le prix d'établissement de la voie serait considérablement augmenté. De plus, ce système exige l'emploi d'une saillie à toutes les roues; or, sur les routes à usage commun, il est impossible de maintenir, sans de fréquents remaniements, le parallélisme rigoureux des rails, qui sont constamment déplacés par l'action du roulage ordinaire; de là la nécessité où l'on a été de supprimer les boudins des roues d'un côté de la voiture, et la diminution sensible de traction que cette disposition a fait obtenir. Ces observations s'appliquent du reste à une voie exploitée par des chevaux, avec un matériel spécial.

On oppose à cette opinion que les rails à ornière étroite doivent nécessairement donner lieu à une résistance beaucoup plus considérable que ceux à table saillante; sur tous les chemins de fer on trouve que, par suite du jeu laissé dans le calage des roues et de l'usure des bandages, tous les contre-rails portent des traces d'usure qui s'étendent jusqu'à $0^{m}07$ de distance du bord intérieur du rail; l'ornière du rail Loubat n'ayant que 0,035 de largeur, il paraît impossible d'appliquer ce rail au matériel ordinaire des chemins de fer.

M. Molinos ne conteste pas la valeur des observations de M. Delonchant, en ce qui concerne spécialement l'établissement de voies de fer à traction de chevaux sur des chemins à usage commun. Mais, dans le projet qui est présenté à la Société, une portion séparée de la route serait réservée à la circulation des trains, et la voie de fer ne devrait emprunter

l'emplacement de la chaussée que pour la traversée des ouvrages d'art et des villages.

M. Molinos, répondant à une question qui lui est adressée, indique que provisoirement la disposition à adopter pour les passages à niveau pourrait être celle des chemins de fer ordinaires. Une objection a été faite relativement aux difficultés que l'établissement du chemin de fer pourrait apporter à l'exploitation des propriétés riveraines; la solution qui est indiquée dans le mémoire consisterait à établir des clôtures mobiles qui seraient manœuvrées par les propriétaires; il faudrait en outre des passages à niveau très-rapprochés, mais qui pourraient être établis d'une manière très-simple ou même provisoire.

M. Goschler indique qu'il y a, en Belgique, beaucoup de passages à niveau sans contrerails.

M. le Président fait remarquer que les divisions des propriétés agricoles suivent généralement la ligne de l'écoulement des eaux, et sont desservies par des chemins d'exploitation parallèles au thalweg, qui les aborde par leurs extrémités. Les routes importantes, n'étant pas tracées, en général, suivant cette dernière direction, ne desservent directement qu'un petit nombre de propriétés, et par suite les passages à niveau à établir seraient moins fréquents qu'on ne serait disposé à le croire au premier abord.

M. de Blonay a adressé à la Société une note sur les chemins de fer vicinaux du Bas-Rhin.

Le réseau départemental du Bas-Rhin est basé sur une heureuse combinaison de la loi du 21 mai 1836 sur les chemins vicinaux, et de celle du 11 juin 1842 sur le premier réseau des chemins de fer. La première de ces deux lois consacrant la compétence du département et son initiative pour la création de nouveaux chemins de grande communication, l'autorité départementale a décidé que l'exécution des chemins de fer vicinaux du Bas-Rhin aurait lieu par le concours des communes et du département, dans la proportion des dépenses faites jusqu'à présent, par chacune des deux parties, pour la construction du réseau vicinal existant. En même temps, par application de la loi de 1842, elle a stipulé que l'ensemble de ces ressources devait servir à l'acquisition des terrains, à la construction de la voie vicinale proprement dite et des stations.

Le nouveau réseau devait comprendre neuf chemins, d'ensemble 203 kilom. Les projets de deux de ces chemins, celui de Strasbourg à Barr et à Wasselone d'une longueur de 49 kil. 15 et celui de Haguenau et Niederbroon, d'une longueur de 19 kil. 62, dont la réalisation était la plus urgente, furent soumis à l'instruction administrative prescrite par la loi de 1836, puis à la sanction du Conseil général qui, conformément à l'art. 7 de la même loi, classa les chemins, détermina leur direction, désigna les communes qui avaient à contribuer à leur construction, et vota la part contributive du département dans l'ensemble de la dépense.

Enfin, des traités ont été passés avec des Compagnies pour l'achèvement et l'exploitation des chemins. Les concessionnaires s'étaient d'abord réservé la faculté d'opérer la traction par chevaux; en outre les nouvelles

lignes devaient être exécutées de la manière la plus économique; ainsi on avait proposé l'adoption d'un rail de 28 kilogr. et la faculté de supprimer les clôtures autres que celles entourant les gares. Ces dispositions n'ont pas été approuvées par le gouvernement, qui a préféré allouer une subvention de 12,000 fr. par kilomètre, en exigeant que la traction fût faite par des locomotives.

Les chemins sont prévus à une voie de 1^m50; la distance du rail à l'arête supérieure du talus de ballast n'est que de 1^m00, et les talus du ballast ont une largeur en plan de 0,75. En remblai, il y a des banquettes de 0^m50, ce qui porte à 6^m00 la largeur en couronne. En déblai, cette largeur n'est que de 8^m50, les fossés ont 0^m75 et la banquette extérieure 0^m50.

L'inclinaison maxima des rampes est de 0^m010 par mètre, et le rayon minimum des courbes de 300 mètres.

Les dépenses de premier établissement sont évaluées comme suit par kilomètre :

	Chemin de Strasbourg à Barr, etc. (50 kil.)	Chemin de Haguenau à Niederbroon (20 kil.)
Dépense à la charge du département.	48,086	30,500
— à la charge des concessionnaires, on y comprenant la subvention de l'État.	58,000	63,500
	104,086	94,000

La suite de la discussion est renvoyée à la prochaine séance.

MM. Monthiers et Verdier ont été reçus membres de la Société.

ÉTUDE

SUR

L'UTILISATION DES ROUTES

A L'ÉTABLISSEMENT

DE CHEMINS DE FER ÉCONOMIQUES

PAR

MM. L. MOLINOS ET C. PRONNIER.

La situation de l'industrie des transports, en France, n'a jamais, plus qu'aujourd'hui, mérité l'attention publique. Les grands réseaux de chemins de fer exploités ou en voie d'exécution, loin d'avoir satisfait les exigences des intérêts si multiples de la production et de la consommation nationales, ont fait naître, au contraire, de nouveaux besoins qui demandent impérieusement une extension considérable de lignes secondaires. En présence des lenteurs apportées à l'achèvement du réseau concédé aujourd'hui, n'est-il pas à craindre que les lignes nouvelles, qui se trouvent en très-grande partie dans des conditions de trafic infiniment plus défavorables, ne puissent pas s'exécuter du tout, ou du moins que leur exécution soit ajournée d'une manière funeste pour les intérêts qui les réclament?

Pour bien faire comprendre dans quelles conditions se présentent les lignes secondaires dont on sollicite l'établissement, et

les difficultés de toute nature qui s'opposeront à leur exécution si l'on persiste dans la voie actuellement suivie, il nous paraît utile de rappeler en quelques mots les mesures prises pour l'établissement du réseau actuel, quoiqu'elles aient été l'objet d'une grande publicité.

Les chemins dont l'exécution doit être considérée aujourd'hui comme décidée comprennent 16,940 kilomètres, sur lesquels 9,448 kilomètres seulement sont en exploitation; les 7,492 kilomètres restants sont en partie en voie d'exécution, et l'État, cédant à de pressantes sollicitations, fait étudier environ 2,000 kilomètres de lignes nouvelles, dans lesquelles il a fait choix de vingt-cinq lignes ayant une longueur de 1,325 kilomètres, dont il évalue la construction à 367,300,000 francs, soit à 277,000 francs environ par kilomètre.

Ces lignes viennent d'être proposées à l'approbation des Chambres législatives. Le chiffre de 277,000 francs par kilomètre indique que l'on compte exécuter ces chemins d'après les prescriptions des cahiers des charges imposées jusqu'à présent aux diverses Compagnies, pour l'exécution du réseau actuel.

Le nombre de kilomètres exploités à la fin de 1851, époque à laquelle la durée des concessions de chemins de fer a été portée à quatre-vingt-dix-neuf ans, n'était que de 3,538 kilomètres; mais, à partir de cette époque, une grande faveur s'attacha à cette industrie, qui trouvait avec la plus grande facilité le crédit nécessaire à son développement. Environ 4,800 kilomètres furent concédés de 1852 à 1855 inclusivement. En 1857 il fut accordé, tant en concessions définitives qu'en concessions éventuelles, à peu près 4,400 kilomètres, qui portèrent à environ 16,000 kilomètres le chiffre total des diverses concessions. Depuis, l'ensemble des chemins autorisés, en y comprenant ceux de la Savoie et de Nice, s'est élevé à 16,940 kilomètres.

Dans le but de maintenir la prospérité de l'industrie des

chemins de fer, l'État les fit organiser en grands réseaux, en exigeant la fusion des petites Compagnies avec les grandes, et en n'accordant de concessions nouvelles qu'à ces dernières.

De 1852 à 1857, les Compagnies, soutenues par la confiance publique, purent donner un grand développement à leurs travaux, mais la crise financière survenue à la fin de cette dernière année vint changer la situation; les valeurs des chemins de fer se déprécièrent, et l'État vit avec inquiétude l'abaissement du crédit des Compagnies, lié au sien par les garanties d'intérêt qu'il avait accordées à beaucoup d'entre elles.

Il restait alors à exécuter environ 8,578 kilomètres, dont la dépense était évaluée à 3 milliards.

Pour arrêter la dépréciation qui frappait aussi bien les titres des lignes exploitées que ceux des nouvelles, à cause de leur solidarité complète, et qui menaçait d'une interruption des travaux, l'État consentit à modifier les traités des diverses Compagnies.

L'esprit de la transaction nouvelle, rendue exécutoire par un décret impérial du 11 juin 1859, fut de ne rien changer à la situation acquise aux chemins exploités, à la condition qu'ils ne profiteraient pas de l'accroissement de bénéfices résultant de l'établissement des chemins concédés en dernier lieu. Sur ces bases, le gouvernement consentit à accorder, pour les chemins à construire, des subventions de natures diverses et une garantie de minimum d'intérêt sur le capital *évalué*.

En conséquence, les concessions de chaque Compagnie furent divisées en deux groupes distincts, sous les noms d'*ancien* et de *nouveau réseau*. L'ancien réseau, comprenant 7,774 kilomètres, dont on maintenait la situation, n'eut plus de garantie d'intérêt; son compte de construction et d'exploitation fut séparé de celui du nouveau réseau, et un chiffre de produits nets fut fixé pour chaque Compagnie, chiffre correspondant au produit que l'on

trouvait légitime de réserver au capital engagé. Il fut convenu que, si ces produits venaient à être dépassés, l'excédant serait en totalité ajouté aux recettes du nouveau réseau pour couvrir, au besoin jusqu'à concurrence, l'intérêt garanti par l'État.

Les sommes que l'État pourrait verser, par suite de cette garantie d'intérêt, doivent lui être remboursées avec intérêts à 4 pour 100 par an, sur les excédants des recettes lorsqu'ils se produiront. Enfin, en compensation des sacrifices faits par l'Etat, les Compagnies s'engagèrent à partager avec lui, à partir de 1872, l'excédant de leurs bénéfices totaux sur les produits nets affectés à l'ancien réseau, augmenté de l'intérêt à 6 pour 100 des sommes *dépensées* pour le nouveau.

L'intérêt garanti par l'État sur les 8,578 kilomètres du nouveau réseau est de 4 pour 100 pendant cinquante années, avec amortissement calculé au même taux, soit en tout 4f,65 pour 100.

Telles sont les mesures qu'on a cru propres à assurer l'achèvement du réseau de 16,940 kilomètres. Ces mesures ont été prises principalement en vue d'en hâter l'exécution, et, dans le projet de loi, l'administration semblait en prévoir l'achèvement au plus tard vers l'année 1867. Elle a, du reste, intéressé les Compagnies à terminer le réseau dans une période aussi courte que possible, à partir du 1er janvier 1865, car, à compter de cette date, où commence la garantie de l'Etat, jusqu'à l'achèvement du réseau, le chiffre du produit net kilométrique réservé à l'*ancien réseau* est abaissé de 200 francs par 100 kilomètres de chemin non encore livrés à l'exploitation.

Ces mesures ont-elles été suffisantes? et doit-on en désirer l'extension pour les lignes à concéder?

Les faits ne concluent pas en leur faveur; en effet, pour atteindre le résultat désiré, il eût fallu exécuter au moins 1,000 kilomètres par an. Or, si, en 1858, il a été exécuté 1,396 kilomètres, en 1859 il n'a été exécuté que 389 kilomètres, et nous voyons

dans la situation de l'Empire, publiée le 6 février dernier, que « l'année 1860 n'a ajouté que 243 kilomètres aux lignes en exploitation. » A la vérité, on attribue ce faible chiffre à la mauvaise saison, et l'on compte ouvrir 705 kilomètres en 1861, et 768 en 1862; mais, en supposant même qu'on n'ait pas de mécomptes sur ces derniers chiffres, ils sont bien éloignés de répondre à l'attente générale et aux espérances qu'avait fait concevoir la loi du 11 juin 1859.

Nous n'avons pas besoin d'insister sur l'insuffisance du réseau actuellement concédé; l'opinion publique est fixée à cet égard; elle sait que notre industrie et notre agriculture ne peuvent retirer du réseau actuel tous les avantages qu'il comporte, qu'à la condition d'y avoir accès au moyen de l'établissement de 8,000 à 10,000 kilomètres de lignes secondaires. Ce chiffre n'est certainement pas exagéré; il suffit, pour s'en convaincre, de comparer l'étendue de notre réseau à celle des chemins de fer anglais et belges. Les documents officiels publiés au commencement de cette année nous font d'ailleurs connaître, comme nous l'avons dit plus haut, que déjà, parmi les lignes dont l'exécution est vivement sollicitée, 2,000 kilomètres, dont l'administration évalue la dépense à 550 millions, sont mis à l'étude. Ainsi, on semble admettre pour ces lignes secondaires les mêmes bases de dépense que pour le réseau actuel; on ne s'est pas encore expliqué complétement sur les combinaisons financières qui en permettront l'exécution, et qui doivent présenter les plus grandes difficultés. Remarquons en effet que ces lignes secondaires sont dans des conditions bien plus défavorables que le *nouveau réseau*.

Les anciennes lignes ont conservé avec celui-ci une certaine solidarité; elles lui réservent l'excédant de leurs produits nets; elles lui garantissent aussi le payement de la différence d'intérêt entre le taux de 4 pour 100 et celui auquel les Compagnies font leurs emprunts. Cette ressource manquera aux lignes

nouvelles; de plus, elles seront beaucoup moins productives, car les lignes concédées actuellement ont été choisies parce qu'elles présentaient le trafic le plus important, et il en devait être ainsi, puisqu'on devait satisfaire d'abord les intérêts les plus pressants. Cependant la recette brute moyenne du nouveau réseau n'est évaluée qu'à 15,000 francs par kilomètre, et le produit net à 7,000 francs. Or, cette évaluation n'est pas trop faible, car la garantie de l'État paraît devoir être effective pour une partie de ces lignes. Le produit des chemins à concéder sera donc notablement en dessous de ce chiffre. En effet, suivant quelques études faites sur cette question, on ne doit compter que sur une recette brute kilométrique de 6 à 10,000 francs pour la plus grande partie d'entre eux.

Si donc les lignes à concéder devaient être exécutées et exploitées suivant les prescriptions du cahier des charges imposées indistinctement par l'Etat à toutes les Compagnies, prescriptions qui font ressortir à 280,000 francs au minimum la dépense kilométrique de premier établissement, et qui ne permettent pas de réduire les frais d'exploitation au-dessous de 7,000 francs, ces lignes ne pourraient être établies qu'avec des subventions considérables, et avec la garantie d'un minimum d'intérêt élevé, c'est-à-dire dans des conditions tellement onéreuses pour le trésor public, qu'elles équivaudraient à l'établissement gratuit de ces chemins par l'Etat, résultat qui n'est pas admissible.

L'administration supérieure est évidemment préoccupée de cette difficulté ; cela ressort du dernier exposé de la situation de l'Empire [1].

---

[1] Voici le texte du paragraphe auquel nous faisons allusion : « Le gouvernement. . « . . . . Mais là ne s'est pas bornée son action ; il a, en outre, fait préparer l'étude « de nouvelles lignes vivement sollicitées par diverses régions de l'Empire. Pour ces « chemins, la question se présente sous un tout autre aspect que pour les concessions « éventuelles. Il ne s'agit pas de constater l'utilité publique de chemins de fer déterminés

Il nous montre, en effet, que la solution de l'administration consisterait à « apprécier l'utilité relative de lignes qui s'excluent mutuellement, » c'est-à-dire à proposer chaque année une certaine quantité de lignes qu'elle exécutera sans dépasser, dans aucun cas, les dépenses à faire par l'Etat, que la loi de 1842 met à la charge du Trésor. Cela équivaût à un long ajournement des chemins réclamés.

Si nous avons atteint notre but dans ce court exposé, il doit paraître évident que la véritable solution pour la création du réseau secondaire, aujourd'hui reconnu indispensable, n'est pas dans des chemins d'une exécution dispendieuse avec l'intervention des finances de l'Etat, mais qu'elle se trouverait dans l'établissement de chemins exigeant un capital très-faible, soit du tiers au quart de la dépense kilométrique des chemins actuels, avec un régime d'exploitation très-économique. Ces conditions donneraient aux capitaux engagés dans ces sortes d'entreprises une rémunération suffisante ; ils y seraient donc attirés, et si, dans quelques cas, il était nécessaire, pour les stimuler, de leur offrir la garantie d'un minimum d'intérêt, cette garantie n'aurait, ainsi que pour les premières lignes établies, d'autre résultat que de leur donner un appui moral ; elle pourrait donc être offerte sans inconvénient par les localités que les chemins doivent desservir ; cette manière d'opérer serait à la fois plus rationnelle et

---

« à l'avance, il faut apprécier l'utilité relative de lignes qui s'excluent mutuellement, et « mettre en concurrence des intérêts qui, considérés isolément, sont dignes, à des titres « divers, de la sollicitude des pouvoirs publics. Des questions aussi délicates semblent « ne pouvoir se résoudre que par des enquêtes comparatives, dans lesquelles tous les « intérêts, toutes les opinions pourront se faire entendre. Plus de 2,000 kilomètres de « lignes nouvelles, représentant une dépense d'environ 550 millions, ont été ainsi étu- « diés dans le cours de la dernière campagne. Tous ces projets sont déjà ou vont être « prochainement soumis aux formalités d'enquête, et deviendront ensuite l'objet de « l'examen de l'administration supérieure. Le gouvernement puisera dans cette instruc- « tion les éléments des propositions qu'il aura à soumettre, en ce qui concerne les condi- « tions financières, à la sanction du Corps législatif. »

plus équitable qu'un système trop étendu de subvention par l'Etat. Elle ne serait d'ailleurs pas sans de grands avantages pour les localités, qui pourraient ainsi prendre l'initiative des travaux, et faire exécuter, dans très-peu d'années, le réseau des chemins secondaires.

Mais l'exécution de chemins de fer très-économiques, présentant la plus grande partie des avantages des lignes actuelles, est-elle possible ? Nous n'hésitons pas à l'affirmer.

Quand on examine les prix d'établissement des chemins exécutés en prévision de petits trafics, c'est-à-dire avec une seule voie et peu de matériel roulant, on voit que la dépense occasionnée par les acquisitions de terrains, par les terrassements, par les ouvrages d'art et les bâtiments, entrent pour les trois-quarts dans le prix total. Or, on pourrait supprimer la presque totalité de ces dépenses, en utilisant en partie les routes actuelles pour l'établissement des chemins de fer. Les routes de toute classe dont la France est sillonnée représentent un immense capital. Ce capital va être en partie stérilisé par celui qu'on appliquera aux nouveaux chemins de fer. N'est-ce donc pas une idée naturelle que de chercher à résoudre le problème en combinant ces deux éléments ? La dépossession des routes ordinaires par les chemins de fer du trafic qui les alimentait, a toujours porté un coup funeste aux localités, en frappant d'une moins-value considérable tous les établissements que le mouvement de la circulation en hommes et en choses y avait amené. De là, dans les premiers moments d'une exploitation, des concurrences passionnées que les Compagnies n'ont pas éteintes sans sacrifices. Si, au lieu de se priver des instruments de trafic ainsi organisés, de lutter contre eux, les chemins de fer avaient pu se les assimiler immédiatement, combien leurs commencements eussent été plus faciles et plus productifs !

La question est de savoir si, aujourd'hui, les progrès de la

locomotion permettent de faire ce que l'art n'a pas permis jusqu'à présent; si l'établissement du chemin de fer peut se plier aux conditions d'établissement des routes; si la traversée du hameau, du village, des petites villes pourrait se faire en desservant l'auberge, la maison de roulage, la grosse manufacture, le moulin, par des trains circulant au milieu de tous les autres modes de locomotion, s'arrêtant dans le voisinage du marché, se pliant aux besoins de la localité et vivant de ces besoins. Si cela est possible, nul doute que ce ne soit un grand bien, un puissant moyen de réalisation du réseau secondaire, une base d'activité qui se populariserait rapidement, et familiariserait le placement dans ces entreprises des petites épargnes de l'habitant des campagnes. En un mot, nous proposons qu'on se serve des routes elles-mêmes, pour l'établissement des lignes secondaires, en posant à très-peu de frais la voie ferrée sur un accotement, ou au moins sur un élargissement très-peu coûteux de la route. C'est cette solution que nous allons développer, en examinant :

1° Si la *traction par machine* sera possible sur des voies ferrées posées sur des routes ;

2° Quel sera le *prix d'établissement* de 1 kilomètre d'un chemin de fer de cette nature ;

3° Si les *conditions financières* de l'entreprise, avec le trafic, les frais d'établissement et d'exploitation que nous supposons, sont suffisamment rémunératoires.

1° Traction par machines.

L'application des machines à la traction d'un chemin de fer établi sur une route soulève des objections dont nous ne devons pas dissimuler l'importance. Ecartons pour un instant toutes les

difficultés techniques, et examinons cette grave question dans ses rapports avec les divers intérêts qu'elle peut atteindre.

Nous posons d'abord en principe que l'exploitation d'un chemin de fer par des machines, doit faire renoncer à cette communauté de la voie ferrée avec la route qui constitue ce qu'on appelle la *voie américaine*.

Lorsqu'une voie américaine est posée sur une route macadamisée fréquentée, il est aujourd'hui prouvé qu'elle porte à la circulation un très-grave préjudice et entraîne d'énormes frais d'entretien. La cause en est dans la fixité relative du plan des voies qui, solidement assises sur une forme incompressible, ne subissent, même par un long usage, qu'un très-faible affaissement, tandis qu'autour d'elles la chaussée s'use incessamment, met en saillie les rails et force à des rechargements continuels. De là un obstacle très-gênant et très-désagréable pour les voitures légères et rapides, et une difficulté réelle pour les voitures lourdes, dont une roue tend toujours à s'engager dans l'ornière creusée le long du bord extérieur de chaque rail, et ne peut la quitter pour éviter le train qu'avec un grand effort. Sur les routes pavées, au contraire, tous ces inconvénients disparaissent : la permanence de la surface générale de la chaussée étant assurée, le rail ne se déchausse plus ; il ne forme plus d'obstacle à la circulation, soit longitudinale, soit transversale ; les voitures ordinaires peuvent, au contraire, s'en servir au moins pour une de leurs roues, et, si ce rail est creux, cet usage n'est pas préjudiciable à la voie ferrée, en ce qu'il n'amène pas dans la gorge les détritus qui, sur les routes macadamisées, rendent souvent presque illusoire l'emploi du rail américain.

La solution est donc tout indiquée pour nous ; nous traverserons les villages et les travaux d'art au milieu de la voie commune, en prenant la simple précaution de paver la route à ces endroits, si toutefois elle ne l'est pas. Sur tout le reste du par-

cours, nous devons au contraire séparer avec soin la voie ferrée de la voie commune, et dès lors ne nous imposer aucune gêne pour le choix du système de voie. La charge que les rails auront à supporter, la nécessité d'avoir par suite une voie solide et durable, conduit à l'adoption de rails saillants. Nous adoptons donc la *voie à rails saillants*.

Mais ici nous allons soulever une foule d'objections.

Est-il possible d'enlever aux routes actuelles un accotement sans les restreindre de manière à rendre la circulation impossible sur la partie restante? Ne résultera-t-il pas du voisinage immédiat du chemin de fer un danger réel pour les voitures qui parcourront la route? L'établissement du chemin de fer sur un côté de la route ne séparera-t-il pas de cette route tous les propriétaires riverains qui en jouissaient librement?

Ces objections méritent sans doute une étude approfondie, mais nous espérons montrer qu'aucune d'elles ne peut conserver assez de force pour être mise en balance avec les avantages considérables que présente le système que nous proposons.

Examinons d'abord la première difficulté, l'emprise faite sur la route même.

S'il ne s'agissait que de routes impériales, nous nous croirions dispensés de répondre ; les chiffres parlent d'eux-mêmes. On sait que la largeur des routes impériales varie de 14 mètres à 10 mètres, non compris les fossés. Nous avons besoin d'une emprise de 3 mètres. Cette réduction peut être opérée sur ces routes sans porter le moindre préjudice à la circulation. Mais l'idée que nous poursuivons n'est évidemment pas destinée à trouver ses applications les plus heureuses et les plus utiles sur les routes impériales. Il faut qu'elle se prête à la transformation bien plus intéressante des chemins de communication secondaire. Or, la largeur d'une route départementale varie de 8 mètres à

10 mètres. Supposons d'abord qu'il s'agisse d'une route départementale de 8 mètres de largeur totale.

Dans ce cas, le profil transversal de la route se compose ainsi qu'il suit :

Largeur de la chaussée.	4m	ou 5m
Largeur de chaque accotement.	2	ou 1 ,50
Total..	8m	ou 8m

Plus, de chaque côté de la route, un fossé de 1m,50 de largeur, ce qui fixe l'emprise totale à 11 mètres. Tel est le minimum de largeur des routes départementales.

La chaussée se profile transversalement suivant un arc de cercle, de manière que les eaux se divisent en deux parties et vont s'écouler de part et d'autre de l'axe de la route dans chaque fossé.

Mais cette disposition n'est nullement nécessaire, et il n'y aurait aucun inconvénient à construire les routes avec une seule pente transversale, de manière à rejeter toutes les eaux dans un seul fossé. Aucune objection valable ne peut être soulevée contre cette disposition. En effet, elle est, d'abord, déjà adoptée souvent lorsque la route est accolée au flanc d'une montagne ou d'un coteau, et, d'ailleurs, les routes impériales, qui ont une largeur presque double, n'offrent que deux pentes, dont chacune représente, par conséquent, un profil de route à peu près semblable à celui que nous proposons.

Ainsi, rien ne s'oppose à une modification du profil de ces routes, qui aurait pour but, en les mettant à une seule pente, de supprimer un fossé, et cette disposition nous offre une solution tout à fait satisfaisante ; en effet, l'emprise du chemin de fer, qui exige 3 mètres, prendrait la place du fossé actuel, plus 1m,50 d'accotement. Il resterait donc à la route 0m,50 de

l'accotement occupé, la chaussée tout entière et le deuxième accotement.

Pour mieux utiliser la surface restant à la route, on pourrait augmenter l'accotement pris par le chemin de fer aux dépens du second. Les dépôts de matériaux se feraient alors le long du chemin de fer et présenteraient l'avantage d'en éloigner les voitures.

Ainsi, dans ce cas, le profil de la route se composerait comme il suit :

Un accotement de $1^m,50$ bordant le chemin de fer et portant les dépôts de matériaux ; la chaussée de 4 mètres, un accotement de 1 mètre et le fossé, ou bien la chaussée de 5 mètres et le fossé.

Nous n'hésitons pas à affirmer que cette solution, au point de vue de l'emplacement laissé à la circulation de la route, est absolument satisfaisante. Elle ne blesse aucun intérêt sérieux, quand même l'établissement du chemin de fer n'aurait pas pour effet d'absorber une grande partie des transports de la route.

Le profil de route que nous venons d'examiner représente à peu près le cas le plus défavorable qu'on puisse rencontrer dans l'application. On peut dire *à priori,* en effet, qu'il ne sera intéressant d'établir un chemin de fer que pour relier des points entre lesquels il existe déjà un trafic important et par conséquent en général une voie de largeur moyenne.

Si l'on a affaire à un chemin vicinal de grande communication, la seule différence est que, le fossé n'ayant que 1 mètre de largeur, le second accotement n'aurait que 1 mètre au lieu de $1^m,50$, ce qui est encore tout à fait suffisant.

Enfin, pour le cas très-particulier où l'on ne disposerait que d'un chemin de moins de 8 mètres de largeur totale, il faudrait augmenter la largeur de la route ; nous examinerons spécialement cette solution.

L'établissement d'un chemin de fer sur une route est donc généralement facile sans nuire à la circulation de la route, au point de vue de l'emplacement. Mais n'est-il pas à craindre que ce voisinage inaccoutumé n'occasionne des accidents fréquents ? Nous allons voir que tous les faits concordent pour démontrer qu'à l'aide de certaines précautions on peut écarter toutes chances d'accidents.

Nous n'avons pas à parler des piétons auxquels l'établissement de la voie ferrée, absolument séparée de la route, ne peut faire courir aucun danger. La véritable objection porte sur les voitures.

Trois causes effrayent les chevaux en pareille occasion : la vitesse, le bruit, la forme ou la couleur inusitée de l'objet.

Nous proposons de parcourir 20 kilomètres par heure, vitesse à peu près égale à celle d'une malle-poste. Personne n'ignore qu'avec cette faible vitesse, le bruit est peu sensible. Sous ce double rapport nous n'introduisons donc pas de conditions nouvelles. Quant à la forme et à la couleur du train, c'est un fait d'expérience que les chevaux s'y habituent rapidement. Nous voyons des chevaux supporter sans broncher, à un passage à niveau, le bruit vraiment effrayant d'un train express lancé à grande vitesse, à quelques mètres de leurs yeux. Sur beaucoup de points, nos chemins de fer longent des grandes routes, sans que personne s'en inquiète, et si la distance qui les sépare est un peu plus grande, elle est bien largement compensée par les conditions si différentes de la vitesse et du bruit. La ville de Nantes est traversée dans sa plus grande longueur et sur le quai de la Loire, où la circulation est la plus active, par les trains du chemin de fer de Saint-Nazaire.

A l'étranger les exemples analogues abondent ; il nous suffira de rappeler que la plupart des chemins de fer de houillères en Belgique traversent des villages populeux au milieu des rues,

sans clôtures, et sans qu'on les signale comme une cause d'accidents [1].

Ce n'est pas à dire pourtant qu'on ne puisse indiquer une série de précautions très-faciles à prendre et qui arriveront à rendre vraiment nuls les dangers du voisinage des chemins de fer.

D'abord, la disposition que nous avons proposée sépare la chaussée du chemin de fer par un accotement de $1^m,50$ de largeur.

Cet accotement est surélevé de $0^m,20$ par rapport à la chaussée, et, du côté du fossé, on peut avec grand avantage disposer un petit trottoir formant la même saillie. Ces deux bordures, bien que ne présentant pas un obstacle matériel considérable pour les chevaux, ont pourtant une influence notable, en leur signalant la direction qu'ils doivent suivre et que leur instinct les porte à conserver.

Il n'y aurait aucune difficulté à clore le chemin de fer du côté de la route, soit avec un treillage, soit avec des pieux et des lisses, suivant les ressources du pays. Cette séparation, si légère qu'elle soit, tendra beaucoup à rassurer les chevaux.

Si la route flanque un coteau, on peut augmenter l'importance de toutes ces précautions, accroître la saillie des bordures, mettre un garde-corps extérieur, mieux clore le chemin de fer.

Enfin, il faut admettre que le chemin de fer lui-même se prêtera aux circonstances. On peut, à la rencontre d'une voiture, ralentir la marche du train déjà si faible, supprimer l'échappement de la locomotive, etc. Avec cet ensemble de précautions nous avons la conviction profonde que le voisinage du chemin de fer sera sans aucun danger pour la circulation de la route, et que le pays tra-

[1] C'est ainsi au grand Hornu près de Mons. A Berlin, un chemin de fer traverse, sans clôture, une des principales avenues de la ville. A Gênes, sur les quais, en Amérique, à Philadelphie, etc., il en est de même ; nous pourrions multiplier indéfiniment ces exemples.

versé jouira sans inconvénient du bénéfice net d'une immense ressource de transports.

Nous n'avons qu'un mot à dire des intérêts riverains de la route. Actuellement, les propriétaires n'ont nullement la faculté d'aborder la route sur toute sa longueur ; l'existence du fossé offrant un obstacle absolu au moins aux voitures. Nous ne changerons rien au régime actuel. La clôture que nous proposons n'est pas une défense du chemin de fer contre la route, la sécurité des riverains est son unique raison d'être. Il n'y a donc aucun inconvénient à ce qu'elle présente un grand nombre de parties mobiles pour les piétons ; les voies transversales, quelles qu'elles soient, seront traversées par des passages à niveau économiques. Loin d'apporter un trouble ou une dépréciation quelconque dans la propriété locale, l'établissement du chemin de fer sera une cause puissante de plus-value ; et nous avons la conviction que, si les populations intéressées étaient appelées à émettre leur avis, elles insisteraient pour voir ainsi la circulation se perfectionner, sans se déplacer en emportant avec elle toutes les industries qu'elle fait vivre.

Quant aux traversées de villages et de travaux d'art, nous avons dit plus haut qu'elles seraient effectuées au moyen de rails non saillants, au milieu de la chaussée, qui sera pavée dans toute la longueur du passage.

Lorsque la route présentera une largeur insuffisante, il faudra nécessairement procéder à un élargissement. Bien que ce sacrifice doive être évité autant que possible, il faut remarquer que les dépenses qu'il occasionnera ne peuvent être mises en parallèle avec celles qui résultent d'un chemin de fer ordinaire.

En premier lieu, le supplément de terrain qu'il faudra demander à l'expropriation coûtera très-peu par sa forme même et par sa position latérale à la route. Celle-ci ayant déjà effectué et payé le morcellement de la propriété, l'indemnité pour le chemin de

fer n'a plus à payer que la valeur de la surface, ce qui est peu de chose ; ce qui même, la plupart du temps, devra n'être rien, si l'on tient compte de la plus-value.

Les travaux proprement dits se borneront à quelques terrassements très-faibles, et rendus exceptionnellement faciles par suite du voisinage de la route.

Ainsi donc, quand bien même notre solution n'emprunterait rien au sol de la route, elle reste encore la plus économique qu'il soit possible d'imaginer.

Nous croyons avoir répondu sommairement à toutes les objections étrangères au côté technique de la question, que peut soulever l'établissement sur une route d'un chemin de fer exploité à l'aide de machines. Il nous faut, maintenant, définir les conditions d'établissement d'un semblable chemin de fer, sous le double point de vue technique et commercial. Nous touchons au point capital du problème, mais c'est aussi le plus simple, car nous n'avons qu'à nous appuyer sur des faits bien établis, qui offrent à nos conclusions des bases certaines et indiscutables.

Les machines peuvent-elles être employées avec avantage à l'exploitation d'un chemin de fer établi sur une route? La seule différence avec les chemins de fer actuels est la forte inclinaison des rampes jointe au très-petit rayon des courbes. La disposition du matériel spécial que nous proposons lève complétement cette dernière difficulté ; nos machines et nos waggons, construits sur un système analogue à celui du matériel américain, tourneraient très-facilement dans un rayon de 25 à 30 mètres. Or, il suffit d'admettre un rayon de 100 mètres minimum pour les courbes, pour que toute difficulté réelle soit levée. Généralement, les rampes d'une route ne dépassent guère $0^{m},05$, à moins qu'il ne s'agisse de tracés spéciaux ou très-anciens, de passages de montagnes, en un mot de cas particuliers que nous pouvons écarter complétement pour le moment ; et, dans la plupart des cas, on peut

dire que les pentes de $0^m,05$, même sur les routes où elles sont admises, sont rares et courtes; celles de $0^m,03$ à $0^m,04$ sont plus fréquentes, mais les dépenses nécessaires pour ramener toutes ces rampes à un maximum de $0^m,03$ à $0^m,04$ seraient très-faibles. La question à étudier se réduit donc à savoir si l'exploitation à l'aide de machines sur des rampes de $0^m,03$, $0^m,04$ ou même $0^m,05$ est possible et fructueuse. A l'aide d'un matériel spécial que nous allons décrire succinctement, cette exploitation est, en effet, facile au point de vue technique.

Nous rappellerons en premier lieu que ce problème a été théoriquement résolu par M. E. Flachat dans son *Étude sur la traversée des Alpes*, dans des conditions plus difficiles sous tous les rapports, et pour des rampes de $0^m,05$ à $0^m,06$. Nous n'avons donc qu'à adopter dans leur essence les dispositions indiquées par M. Flachat, en les simplifiant. De plus, pour fournir une solution complète, nous n'avons rien à inventer. Tous les éléments de cette solution ont été soumis à l'expérience, nous nous bornons à les réunir.

En effet, la machine américaine fournit l'exemple de machines pouvant circuler dans des courbes de très-faibles rayons.

Le chemin de *Baltimore and Ohio*, notamment, traverse les Alleghanys avec des rampes de 55^{mm} et des courbes de 110 mètres de rayon. Dans les rues de Baltimore, que ce chemin traverse, la traction se fait avec des chevaux, mais le matériel roulant tourne dans des rues à angle droit.

Quant aux exemples de pentes de 0,03 à 0,04 par mètre, ils abondent, même en Europe. Une section de 11 kilomètres du chemin de fer de Turin à Gênes, celle de Pontedecimo à Busalla, présente une inclinaison moyenne de 28^{mm}, et la pente maxima s'y élève jusqu'à 35^{mm}; il est vrai que le rayon minimum des courbes est de 400 mètres.

Le célèbre passage du Semmering, sur le chemin de fer de

Vienne à Trieste, présente des pentes de 25^{mm}, avec des courbes de 180 mètres de rayon. Le progrès réalisé étant toujours la conséquence d'un besoin nouveau, le passage du Semmering a conduit à la construction de machines spéciales du plus haut intérêt, et nous aurons à parler plus loin de la *Wiener-Neustadt,* et de la *Seraing,* qui ont rempli des conditions si voisines de celles que nous nous sommes posées ; et cependant, à peine exécutées, elles ont été remplacées avec avantage par les machines Engerth.

En un mot, nous n'avons à faire qu'un pas de plus, et nous arrivons en réunissant des éléments épars, mais consacrés par l'expérience, à la solution complète du problème de la traction sur des tracés à grandes pentes et à courbes de faibles rayons.

Les conditions générales auxquelles doivent satisfaire les machines sont intimement liées aux conditions d'établissement de la voie ; nous devons donc d'abord dire quelques mots de cette dernière.

Elle dépend elle-même du trafic.

Si le trafic est très-faible, on ne sacrifiera pas de gros capitaux à l'établissement d'une voie coûteuse.

Ainsi, dans ce cas, nous adopterons une voie légère et un matériel léger.

Si au contraire le trafic est assez important, ou doit subir un rapide accroissement, rien ne s'oppose à l'établissement d'une voie aussi solide que celle des grandes lignes, et pouvant également supporter de lourdes charges.

Dans ce cas nous adopterons en effet la même voie, le rail le plus lourd, et par suite nous pourrons admettre des machines très-puissantes, pesant 40 tonnes et même plus.

Or il est évident, et au besoin on s'en convaincra dans le cours de cette étude, que l'hypothèse la plus défavorable à notre recherche est celle d'une voie et d'un matériel léger; si la ques-

tion est examinée et résolue dans ces conditions, la solution sera encore meilleure pour de gros trafics.

Nous nous occuperons donc d'abord des chemins à très-faible trafic, de ceux qu'on peut considérer comme à la limite inférieure de l'échelle, et qu'on devrait déclarer inexécutables avec toutes les ressources actuelles.

Les rails adoptés pour la voie devant être assez faibles, nous nous imposerons comme limite de charge supportée par un essieu un poids de 6 tonnes, c'est environ la moitié du poids de l'essieu le plus chargé dans les locomotives ordinaires.

Les machines seront du poids de 24 tonnes toutes chargées. Elles se composeront essentiellement d'une chaudière faisant corps avec le tender. Cette chaudière sera supportée à ses deux extrémités au moyen de pivots par deux trucks américains qui porteront chacun un appareil mécanique complet. Chacun de ces trucks reposera sur deux essieux couplés mis en mouvement par deux cylindres extérieurs.

Cette disposition a pour but d'utiliser pour l'adhérence le poids intégral de la machine. De plus, la faible base de cette machine lui permettra de tourner dans un rayon de 25 à 30 mètres avec la plus grande facilité.

Nous disposons donc, pour l'adhérence, d'un poids minimum de 18 tonnes ; dans les circonstances les plus défavorables, l'adhérence ne pouvant devenir inférieure au 1/6 du poids des essieux moteurs[1], l'effort de traction que la machine pourra exercer sans patiner sera $\frac{18^t}{6} = 3{,}000$ kilogrammes.

Le poids du train qu'une machine de cette puissance pourrait remorquer sur une rampe de $0^m{,}03$ par mètre est de 85 tonnes.

---

[1] L'adhérence peut varier du 1/3 au 1/10 du poids, suivant l'état des surfaces en contact, mais à moins de circonstances tout à fait exceptionnelles, on peut toujours compter sur le 1/6 au moyen de quelques précautions, telles que l'emploi du sable, etc.

Si nous retranchons de ce chiffre le poids de la machine, 18 tonnes, il reste pour le poids du train 67 tonnes, qui donneront environ 40 tonnes de poids utile.

Le poids x du train qui pourra être remorqué sur la pente de $0^m,03$, par cette machine, sera donné par l'équation :

$$\frac{x}{200}+\frac{3x}{100}=3\text{ ; d'où }x=85^t,7\text{, soit 85 tonnes.}$$

Sur la même rampe de $0^m,03$, une machine pesant 24 tonnes toute chargée, dont le poids ne descendrait jamais au-dessous de 22 tonnes, remorquerait 82 tonnes de poids brut de train. Cette machine ne chargerait le rail que de 6 tonnes par essieu, et ne sortirait pas de la limite de charge que notre rail nous impose.

Sur une pente de $0^m,04$ par mètre, la même machine remorquerait 59 tonnes brutes [1].

Sur une rampe de $0^m,05$, une machine de même poids remorquerait 44 tonnes [2].

Sur une rampe de $0^m,03$, une machine pesant, toute chargée, 43 à 44 tonnes, 36 tonnes, vide, mais ne descendant jamais en marche au-dessous de 40 tonnes, remorquerait 149 tonnes [3].

Tels sont les poids que les machines pourront remorquer sur les pentes que nous avons supposées. On voit que le passage d'une pente de $0^m,03$ à une pente de $0^m,05$ diminue de près de moitié le poids du train qu'une même machine peut remorquer. Nous

---

[1] L'effort de traction correspondant à l'adhérence est $\frac{22^t}{6}=3,666^k$. Le poids total remorqué x est donné par l'équation : $\frac{x}{200}+\frac{4x}{100}=3^t,666$; d'où $x=81^t,4$, en déduisant le poids de la machine, 59 tonnes.

[2] Le poids remorqué est donné par l'équation : $\frac{x}{200}+\frac{5x}{100}=3,666^k$; d'où $x=66^t,2$. En déduisant le poids de la machine, il reste pour le train 44 tonnes.

[3] L'adhérence est dans ce cas d'environ $6,700^k$, et le poids brut correspondant est $191^t,4$. En retranchant le poids de la machine, il reste pour le train 149 tonnes.

verrons plus loin quel résultat donnera une exploitation industrielle basée sur ces chiffres. Examinons d'abord le prix d'un kilomètre de notre chemin.

2° Prix d'établissement.

La voie aura 1m,50 d'écartement, comme celle des grandes lignes; la largeur totale de l'emprise faite sur la route pour son établissement sera de 3 mètres; mais en réalité cette emprise n'occupera jamais au maximum plus de 1m,50 de largeur utile à la route.

La faible charge supportée par la voie, la faible vitesse des trains, nous permettent d'adopter un rail très-léger. Ce rail sera analogue au rail Brunel ou au rail Vignole; il pèsera de 17 à 18 kilogrammes par mètre; il sera posé sur des longrines de 0m,22 sur 0m,15, réunies de 3 mètres en 3 mètres par des boulons d'écartement.

Cette voie toute posée coûtera 20,000 francs par kilomètre, suivant le devis ci-après :

Devis de 1 kilomètre de voie avec rails Brunel de 18 kilos.

DÉSIGNATION DES PIÈCES.	QUANTITÉS.	POIDS TOTAL.	PRIX de la tonne ou de l'unité.	PRIX TOTAL.
		Kilogr.	Fr.	Fr.
Rails	400	36,000	150	9,000
Crampons	6,400	1,280	400	512
Selles d'assemblage de rails.	400	450	400	180
Boulons pour joints des longrines	400	100	700	70
Boulons pour écartement des longrines	333	1,500	600	900
Longrines	400	»	70	3,465
Pierraille ou balast	600	»	5	3,000
Pose (goudron compris)	»	»	2	2,000
			Total	19,127
			Imprévu	873
			Ensemble	20,000

Le prix d'une voie ordinaire, avec rails Vignole, pesant 37 kilogrammes par mètre courant, se composerait comme il suit :

Prix de 6 mètres de voie simple avec rails Vignole [1].

DÉSIGNATION.	QUANTITÉS.	POIDS.	Prix des 1,000 kilogrammes ou de la pièce.	PRIX TOTAL.
		Kilogr.	Fr.	Fr.
Rails de 6 mètres	2	444	218	96,792
Eclisses	2	9.4	238	2,237
Tire-fonds	28	7.42	410	3,042
Boulons	4	1.70	410	0,697
Traverses	7	»	6	42 »
			Total	144,768

[1] Ces prix sont ceux que paye actuellement le chemin de fer du Nord français.

Le prix du mètre courant de voie simple est de 24f,12. 1 kilomètre de cette voie coûtera donc :

Voie proprement dite.	24,120 francs.
Balastage.	3,000
Pose.	2,000
Total.	29,120 francs.

Ainsi, suivant que l'on construira la voie pour supporter des machines légères pesant au plus 6 tonnes par essieu, ou de puissantes machines pesant 10 tonnes par essieu, on peut admettre que le prix de la voie variera de 20,000 francs à 29,120 francs par kilomètre.

Continuons l'examen du prix d'établissement d'une ligne, en faisant abstraction, pour le moment, du matériel roulant, qui entrera plus loin dans nos calculs.

S'il s'agit d'un chemin à très-faible trafic, qu'on puisse établir sur l'accotement même de la route, la dépense pour l'établissement complet de la voie sera[1] :

	Prix par kilomètre.
Voie proprement dite.	20,000 francs
Garages et évitements, 5 pour 100.	1,000
Accessoires de la voie.	
Changements de voie.	370
Plaques tournantes.	433
Alimentations d'eau.	533
Signaux	120
Total.	22,456 francs.

Soit 22,500 francs.

Il faut ajouter à cette somme le capital nécessaire à la réduction des pentes de la route au maximum de $0^m,05$, $0^m,04$ ou $0^m,03$, sui-

[1] Ce devis se rapporte à un avant-projet de ligne de 30 kilomètres de longueur, ayant

vant l'hypothèse. Nous ne pouvons fixer une valeur à cette dépense essentiellement variable ; mais il est certain que, même dans le cas de l'adoption de rampes maximum de 0m,03, elle ne représente généralement qu'une très-faible somme.

Pour un chemin à trafic important, pour lequel on adopterait la voie actuelle des grandes lignes, qui serait accolée à la route et ne lui emprunterait que la traversée commune de ses travaux

---

2 stations de tête, 1 station intermédiaire avec voie d'évitement pour le croisement de 2 trains et 1 garage pour waggons, 2 stations avec 1 simple garage pour waggons.
Les accessoires de la voie compréndraient :

1° pour une station de tête :		
1 changement à 3 voies complet.	2,200 francs.	
1 changement à 2 voies complet.	1,200	
1 plaque tournante pour machine	6,500	
1 alimentation d'eau avec tous ses accessoires.	8,000	
1 disque signal avec ses accessoires. . . .	450	
Total.	18,350	
Soit pour 2 stations.	. . . . .	36,700 francs.
2° pour 1 station avec voie d'évitement :		
3 changements à 2 voies complets. . . .	3,600 francs.	
2 disques signaux	900	
Total.	4,500	4,500
3° pour 1 station avec simple garage :		
1 changement de voie.	1,200 francs.	
2 disques signaux	900	
Total.	2,100	
Soit pour 2 stations.		4,200
Total.		45,400

Dans ce devis, les stations ne sont, à proprement parler, que des garages. La machine irait prendre le train chargé dans les rues de la ville, sinon des chevaux sortiraient le train de la ville comme à New-York.

d'art et des villages, sur le milieu de la chaussée, la dépense par kilomètre se composerait comme il suit [1] :

Voie	29,120f,00
Garages et évitements, 5 pour 100	1,402 ,50
Accessoires de la voie.	
Changements, croisements, traversées	260 ,00
Plaques tournantes	240 ,00
Alimentations	400 ,00
Signaux	100 ,00
Expropriations	3,000 ,00
Travaux divers	6,000 ,00
Total	40,522f,50

Soit 41,000 francs.

Tels sont les deux chiffres extrêmes entre lesquels seront comprises toutes les solutions spéciales. Nous n'entendons nullement nous attacher à une conclusion trop absolue. Nous n'insistons même pas plus qu'il ne convient sur la concession au chemin de fer d'un accotement de la route. En tenant compte des travaux d'appropriation de cette dernière, le détail ci-dessus nous montre que l'accolement à la route ne cause guère qu'un accroissement de dépenses de 8,000 à 10,000 francs par kilomètre, d'autant plus que cette disposition dispenserait certainement de clôtures. Mais que l'on considère, soit cette limite, soit notre chiffre maximum de 41,000 francs, est-il possible de ne pas être frappé de pareils résultats ?

Nous ne serons pas étonnés que quelques chiffres de nos évaluations semblent faibles, si on les compare aux dépenses analogues des grandes lignes. C'est qu'il faut, en effet, faire abstraction de ce point de comparaison, pour comprendre ce que doit être le chemin de fer, pour ainsi dire *vicinal*.

Nous supposons en moyenne un garage tous les 10 kilomètres,

[1] Le détail de ce devis est donné plus loin, page 36, pour une ligne de 100 kilomètres.

avec un quai en terre et tout au plus un abri en planches. Ainsi que nous l'avons dit en effet, nous supprimons complétement les bâtiments des stations.

3° Conditions financières.

Examinons maintenant les conditions financières dans lesquelles se trouveraient des lignes ainsi établies. Nous le ferons au moyen de cinq exemples qui comprennent à peu près tous les cas particuliers.

Nous avons exposé plus haut, soit explicitement, soit implicitement, les principales données qui nous sont nécessaires. Les frais du matériel roulant se trouveront fixés dans chacun des exemples, d'après les principes que nous avons posés en parlant de la traction par machines ; c'est parce que ces frais dépendent du trafic que nous ne les avons pas déterminés d'avance. D'autres chiffres, qui ne sont point particuliers à notre système, mais que nous empruntons à la pratique journalière des chemins de fer, n'ont pas besoin d'être mis en évidence. Il nous reste seulement, avant d'aborder nos cinq exemples, et pour compléter les données essentielles, à parler de l'exploitation et du tarif.

Exploitation. — Elle procède avec une extrême simplicité. Comme sur les grands chemins de fer agricoles des Etats-Unis, dont M. Douglas Galton nous a donné une description si intéressante, le train porte avec lui, outre son propre personnel, les agents nécessaires au mouvement, il présente une certaine analogie avec un navire ayant à bord son équipage complet.

La recette des voyageurs a lieu dans les trains ; les soins de conservation, d'expédition, de chargement, de déchargement et de

réception des marchandises sont du ressort de l'expéditeur ou du commissionnaire de roulage, suivant que la marchandise est expédiée directement ou par un intermédiaire. Les écritures se font, comme celles de la poste, dans le fourgon des bagages. Un seul agent stationnaire contrôle l'énoncé du poids ; là où le trafic est important, le chemin de fer a un bureau en ville ; c'est, en un mot, le service combiné des messageries et du roulage, tout le service actif du mouvement, et, par conséquent, la dépense, étant laissé aux expéditeurs et réceptionnaires. Les expéditions bureau restant sont confiées, moyennant un tarif, à la charge des expéditeurs au commissionnaire de roulage de l'endroit ou à l'aubergiste. C'est aux garages que le personnel se croise et échange les ordres de service et les explications nécessaires. Ainsi, le personnel sédentaire du trafic étant payé par les tarifs de manutention et garde des colis, le personnel, proprement dit des chemins de fer, est mobile, c'est celui du train. Là se bornent les dépenses du mouvement.

Tarif. — Ici encore la comparaison avec les grandes lignes qui transportent toutes les mêmes marchandises à des tarifs à peu près uniformes, pourrait conduire à des conclusions absolument inapplicables. Il nous faut en effet rappeler un principe effacé aujourd'hui par l'uniformité des charges imposées aux Compagnies, mais dont il n'est pas moins vrai qu'on ne pourra pas s'écarter pour des chemins à faible trafic : le tarif doit varier avec le trafic, et dans de grandes proportions. Nous ne chercherons donc pas d'une façon générale à adopter les tarifs des grandes lignes et nous nous bornerons à effectuer les transports à meilleur marché que les messageries et le roulage. Le tarif s'abaissera à mesure que le trafic se développera. Voyons quelle est la limite supérieure que nous pouvons atteindre actuellement.

L'ancien roulage accéléré français portait ses frais de traction proprement dits à 0f,125 par tonne et par kilomètre. A ce chiffre

il ajoutait environ 5 centimes de frais généraux, ce qui fixe le prix réel à 0ᶠ,17 pour des distances un peu considérables. Cette base peut être vérifiée sans peine au moyen des prix exigés par le roulage au moment de la lutte avec les Compagnies de chemins de fer. Les prix qu'il demandait alors variaient entre 0ᶠ,16 et 0ᶠ,19. Nous devons donc considérer le prix de 0ᶠ,16 à 0ᶠ,17 comme la limite supérieure de tarif que nous pourrions demander. Au prix de 0ᶠ,16, le public ne trouverait aucun avantage à l'usage du chemin de fer.

Nous voyons pourtant à l'étranger des exemples de chemins de fer qui, en présence d'une concurrence presque identique, peuvent soutenir des tarifs très-voisins de cette limite. Ainsi, le chemin de fer de Turin à Gênes perçoit sur les marchandises à petite vitesse des tarifs qui varient de 0ᶠ,16 à 0ᶠ,10, sans compter un droit fixe. En France même, le chemin de fer de Saint-Etienne transportait récemment des houilles à 0ᶠ,11.

Il est donc incontestable qu'un tarif moyen de 0ᶠ,12 peut être adopté pour des lignes à très-faible trafic, en offrant au public un avantage réel; et c'est de cette base que nous partirons.

Quant aux voyageurs, le prix de revient du transport par diligence paraît être de 0ᶠ,06 à 0ᶠ,07; il convient d'adopter le premier chiffre. Les voyageurs auront pour avantage la vitesse.

Nous examinerons d'ailleurs le cas opposé, où le trafic étant suffisant, nous pouvons adopter les tarifs moyens des grandes lignes.

Tout cela posé, entrons dans la discussion de nos cinq exemples et voyons quel sera dans chacun d'eux le bénéfice des capitaux.

Dans les quatre premiers, nous supposons que la longueur du chemin à établir est de 30 kilomètres, cette longueur nous paraissant un minimum au-dessous duquel on ne peut lutter contre le roulage. Dans le cinquième, nous considérons un chemin de 100 kilomètres ayant un trafic relativement élevé.

PREMIER EXEMPLE. — *Chemin de fer de* 30 *kilomètres de longueur, établi sur une route avec des rampes maximum de* 0m,03 *par mètre.*

Nous supposons que le trafic annuel sur la ligne à établir représente 7,500 francs par kilomètre, dont 25 pour 100 produits par les voyageurs[1] et 75 pour 100 par les marchandises.

Les tarifs moyens sont de 0f,06 pour les voyageurs et de 0f,12 pour les marchandises.

Ces chiffres correspondent à un mouvement de :

31,250 voyageurs effectuant un trajet complet par an, soit. .		86 par jour.
46,875 tonnes	*idem.*	128 —

Le poids brut représenté par ce trafic journalier est de 234 tonnes environ.

Les plus lourdes machines qui puissent circuler sur notre voie, pesant 24 tonnes toutes chargées, remorquent 82 tonnes de poids brut de train. Le poids brut de 234 tonnes représente donc environ le chargement complet de trois trains. Nous supposerons qu'il en faudra six pour satisfaire au service. C'est-à-dire que, comme sur les grandes lignes, nous supposons que le rapport du plein au vide sera pour tous nos trains de 50 pour 100. Le capital d'établissement de la ligne se compose comme il suit :

30 kilomètres de voie et accessoires à 23,000 francs le kilomètre, avec clôtures, garages, évitements, etc. .	690,000 francs.
3 machines[2] à 50,000 francs l'une	150,000
4 voitures à 60 places[3], 10,000 francs l'une	40,000
A reporter.	880,000 francs.

[1] Sur les grandes lignes, ce rapport est de plus de 30 pour 100, mais il tend à diminuer; il est probable qu'il serait moindre dans le cas qui nous occupe. Il est clair, d'ailleurs, que nous nous plaçons dans des conditions défavorables.

[2] Chaque machine effectuera 23,000 kilomètres par an.

[3] Une voiture transporte au chemin de fer du Midi 285,000 voyageurs à 1 kilomètre par an; nous devons en transporter 937,500; quatre voitures suffiront largement.

Report.	880,000 francs.
21 waggons [1] à 4,500 francs l'un (avec bâches et accessoires).	94,500
Petit matériel, mobilier et agrès divers.	30,000
Ateliers de réparation, dépôt et outillage.	40,000
Abris divers et stations.	10,000
	1,054,500 francs.
Imprévu, 10 pour 100.	105,450
	1,159,950 francs.

Soit 1,200,000 francs.

Compte d'exploitation.

Un train portera quatre employés :

1 conducteur (appointements mensuels), de		200 francs.
1 mécanicien,	—	200
1 chauffeur,	—	100
1 garde-frein,	—	100
		600 francs.

Pour un mouvement de six trains par jour, il faudra deux fois ce personnel, ou 14,400 francs par an.

En prenant pour bases les chiffres officiels qui nous sont fournis par les grandes compagnies actuelles, en rapportant toutes les dépenses à un train transporté à 1 kilomètre, le coût du train kilométrique s'établira comme il suit :

TRACTION.	
Conduite de la machine.	0f,110
Combustible, 12 kilogrammes à 25 francs la tonne.	0 ,300
Graissage de la machine, 30 grammes d'huile à 1f,20. . . .	0 ,036
Entretien du matériel et graissage, à raison de 6 véhicules par train, à 0f,013 par véhicule [2].	0 ,078
Entretien de la machine, à raison de 0f,18 par kilomètre. .	0 ,180
SURVEILLANCE et ENTRETIEN DE LA VOIE (1,400 fr. par kilomètre [3]).	0 ,640
ADMINISTRATION CENTRALE (40,000 fr. par an) et MOUVEMENT.	0 ,718
Total.	2f,062

[1] Chaque waggon transportera par an 67,000 tonnes kilométriques.

[2] Ce prix de revient est celui du chemin de fer du Midi en 1859.

[3] Ce chapitre a coûté en 1859 au chemin du Midi 2,300 francs par kilomètre ; au che-

Recettes.

La recette totale pour toute la ligne étant 225,000 francs, et le nombre de trains kilométriques annuel de 65,700, la recette par train kilométrique sera 3ᶠ,425. Le bénéfice par train est donc de 1ᶠ,363, et le bénéfice total de 89,549 francs ; soit pour un capital de 1,200,000 francs, 7,46 pour 100.

DEUXIÈME EXEMPLE. — *Exploitation d'une ligne de* 30 *kilomètres, avec rampes maximum de* 0ᵐ,04 *par mètre.*

La différence qui sépare cette hypothèse de la précédente résulte de la réduction du tonnage brut du train remorqué par suite de la limite de puissance de la machine.

Dans cette hypothèse, en effet, le poids maximum que la même machine peut traîner n'est plus que 59 tonnes.

Il en résulte que, pour atteindre le même poids brut de 234 tonnes, représenté par le trafic de 7,500 francs par kilomètre, il faut quatre trains complétement chargés, et pour conserver le même rapport que dans le cas précédent entre le tonnage possible et le réel, huit trains. L'exploitation devra donc supporter l'excédant de charges résultant de cet accroissement du nombre des trains, et par conséquent le bénéfice de l'entreprise sera réduit ; il est facile de voir dans quelle proportion.

Le nombre de trains kilométriques annuel sera de 87,600.

Le capital d'établissement restant le même, rapportons les dépenses d'exploitation et les recettes au train kilométrique.

---

min de fer d'Orléans, l'entretien de la voie et des bâtiments coûte 2,500 francs. Nous considérons ces chiffres comme une confirmation de celui que nous avons adopté.

Le personnel des trains devra être augmenté dans le rapport de 2 à 3; il coûtera donc par an 21,600 francs, et par train kilométrique :

	Dépense par train kilométrique.
TRACTION.	
Conduite de la machine.	0f,123
Combustible, 12 kilogrammes à 25 francs la tonne.	0 ,300
Graissage de la machine, 30 grammes à 1f,20.	0 ,036
Entretien du matériel et graissage, à raison de 5 véhicules par train et de 0f,013 par véhicule.	0 ,065
Entretien de la machine, à raison de 0f,18 par kilomètre. . .	0 ,180
SURVEILLANCE et ENTRETIEN DE LA VOIE.	0 ,479
ADMINISTRATION CENTRALE et MOUVEMENT.	0 ,579
Coût du train kilométrique	1f,762

La recette par train kilométrique est $\frac{225,000}{87,600} = 2^f,568$.

Le bénéfice par train kilométrique est donc 0f,806, et le bénéfice total est de 70,606 francs, qui représentent 5,88 pour 100 du capital engagé.

Ainsi, l'adoption de rampes de 0m,04, au lieu de rampes de 0m,03, abaisse de 1 et 1/2 pour 100 environ le produit de l'entreprise.

TROISIÈME EXEMPLE. — *Exploitation d'une ligne de* 30 *kilomètres, avec rampes maximum de* 0m,05 *par mètre.*

Dans cette hypothèse, nos machines ne peuvent plus remorquer qu'un poids brut de train de 44 tonnes.

Le poids brut de 234 tonnes, qui correspond au trafic que nous avons supposé, représente cinq trains et un tiers, complétement chargés.

Nous devons donc supposer, pour conserver le même rapport

du plein au vide que ci-dessus, dix trains par jour. Le nombre des trains kilométriques annuel sera 109,500.

Dès lors, le capital restant toujours le même[1], le compte d'exploitation s'établira ainsi :

TRACTION.	
Conduite de la machine	0f,121
Combustible, 12 kilogrammes à 25 francs la tonne	0 ,300
Graissage de la machine, 30 grammes à 1f,20	0 ,036
Entretien du matériel et graissage à raison de 4 véhicules par train, et de 0f,013 par véhicule	0 ,052
Entretien de la machine	0 ,180
SURVEILLANCE et ENTRETIEN DE LA VOIE	0 ,384
ADMINISTRATION CENTRALE et MOUVEMENT	0 ,500
Coût du train kilométrique	1f,573

La recette par train kilométrique est $\frac{225,000}{109,500} = 2^f,055$.

Le bénéfice par train kilométrique est de 0f,482, le bénéfice total de 52,780 francs, ce qui donne 4,40 pour 100 du capital engagé.

L'influence de la rampe devient donc ici manifeste, de manière même à faire considérer la rampe de 0m,04 comme un maximum qui pourra bien rarement être dépassé avec le type de machine que nous supposons.

QUATRIÈME EXEMPLE. — *Application au premier exemple (rampe de 0m,03; trafic, 7,500 francs par kilomètre) d'un chemin de fer de 30 kilomètres accolé à la route, avec rails de 37 kilogrammes et machines de 40 tonnes.*

Une machine de 40 tonnes peut remorquer 149 tonnes; le rapport du tonnage brut, 234 tonnes, à ce chiffre, donne 1,59. Il faudra donc supposer trois trains.

[1] Le capital ne peut, dans ce cas, rester le même qu'en supposant que les machines effectuent un parcours kilométrique annuel plus considérable; chaque machine doit, en effet, parcourir par an 36,000 kilomètres, ce que nous ne devons pas admettre; le capital devrait donc à la rigueur être augmenté du prix d'une machine ou de 50,000.

Le capital d'établissement sera le suivant :

Voie à raison de 30,576 francs le kilomètre.	917,280	francs.
Accessoires et matériel de la voie (voir le devis suivant).	33,690	
3 machines à 80,000 francs l'une.	240,000	
4 voitures à voyageurs [1].	40,000	
21 waggons.	94,500	
Petit matériel, mobilier et agrès	30,000	
Atelier de réparations, dépôt et outillage.	40,000	
Abris divers et stations..	10,000	
Expropriations et travaux	270,000	
	1,675,470	francs.
Même imprévu que ci-dessus, 20 pour 100..	327,810	
Capital nécessaire. Total.	2,003,280	francs.

Compte d'exploitation.

Les dépenses, ramenées au train kilométrique, se décomposent ainsi :

TRACTION.	
Conduite de la machine.	0f,110
Combustible, 20 kilogrammes à 25 francs la tonne.	0 ,500
Graissage.	0 ,060
Entretien et graissage de 12 véhicules par train.	0 ,156
Entretien de la machine..	0 ,200
SURVEILLANCE et ENTRETIEN DE LA VOIE.	1 ,280
ADMINISTRATION CENTRALE.	1 ,327
Coût d'un train kilométrique..	3 ,633

La recette par train kilométrique est $\frac{225,000}{32,850} = 6^f,85$.

Le bénéfice par train est de 3f,217, le bénéfice total 105,678 fr., ce qui donne 5,28 pour 100 du capital engagé.

Ainsi, cette combinaison fournit un résultat notablement inférieur à la ligne économique, dans l'hypothèse du trafic où nous nous sommes placés.

---

[1] Le nombre de trains kilométriques annuel n'étant plus que 32,850, le parcours des voitures devient insuffisant pour leur bonne utilisation, et il faudrait plutôt 6 voitures que 4.

CINQUIÈME EXEMPLE. — *D'un chemin de fer de 100 kilomètres, avec rampes maxima de 0m,03 par mètre. Le trafic supposé est de 10,000 francs par kilomètre; les tarifs moyens, de 0f,06 par kilomètre pour les voyageurs, et de 0f,06 par kilomètre pour les marchandises* [1].

Nous supposons que la perception sur les voyageurs représente 25 pour 100 de la recette totale.

Le nombre de voyageurs transportés par an à 100 kilomètres sera de $\frac{2,500}{0,06} = 41,666$ voyageurs.

Le nombre de tonnes transportées par an à 100 kilomètres sera de $\frac{7,500}{0,06} = 125,000$ tonnes.

Devis d'établissement.

Nous supposerons une station ou plutôt un lieu d'arrêt tous les 10 kilomètres; quatre des stations intermédiaires auraient des voies d'évitement pour le croisement de deux trains; l'une d'elles aurait un garage spécial pour une machine de réserve; les cinq autres n'auraient que de simples garages pour waggons.

	Prix par kilomètre.
Voie (pour le prix d'établissement, voir plus haut le détail). . .	29,120 francs.
Garage et évitement tous les 10 kilomètres, 5 pour 100.	1,456
A reporter.	30,576 francs.

[1] La moyenne des tarifs moyens kilométriques des chemins de fer du Nord, de l'Ouest et du Midi, est de 0f,0576 pour les voyageurs, et de 0f,072 pour les marchandises. Le rapport des marchandises à petite vitesse à celles à grande vitesse devant être plus considérable en général sur ces lignes secondaires que sur les grandes lignes, et surtout recherchant ici les conditions les plus défavorables à l'exploitation, nous avons adopté le tarif de 0f,06 pour les marchandises.

Report.		30,576 francs.
Accessoires de la voie.		
2 changements de voie complets à 3 voies, à 2,400 francs l'un.	4,800 francs.	
20 changements de voie complets à 2 voies, à 1,400 francs l'un..	28,000	
3 plaques tournantes pour machines, à 6,500 francs l'une..	19,500	
5 alimentations d'eau avec tous leurs accessoires, à 10,000 francs l'une	50,000	
20 disques-signaux avec tous leurs accessoires, à 500 francs l'un.	10,000	
	112,300 francs.	1,123 francs.
Matériel roulant.		
8 machines locomotives [1] de 36 tonnes, à 80,000 francs l'une.	640,000. . . .	6,400
12 voitures à 60 places [2], à 11,000 francs l'une.	132,000. . . .	1,320
8 fourgons à 5,000 francs.	40,000. . . .	400
200 waggons à marchandises, à 4,500 francs l'un.	900,000 [3] . . .	9,000
Ateliers, dépot et outillage	120,000. . . .	1,200
Petit matériel et mobilier des gares. . . .	50,000. . . .	500
Abris divers et remises.	40,000. . . .	400
A reporter.		50,919 francs.

[1] Le parcours annuel de chaque machine est supposé de 27,000 kilomètres.

[2] Au chemin de fer du Midi, le nombre de voyageurs transportés à 1 kilomètre par voiture, a été, en 1859, de 285,000. Nous avons à transporter 4,166,666 voyageurs à 1 kilomètre, ce qui correspondrait à 14 voitures environ. Le rapport des places occupées aux places offertes ne serait dans ce cas que 35 pour 100. On peut supposer un chargement plus complet; c'est pourquoi nous avons supposé 12 voitures.

[3] Au chemin du Midi, un waggon a transporté, en 1859, 52,424 tonnes kilométriques, ce qui, pour un trafic de 12,500,000 tonnes kilométriques, suppose 236 waggons. Au chemin d'Orléans, un waggon transporte 60,000 tonnes kilométriques, ce qui correspond à 208 waggons environ. Nous avons adopté 200 waggons. Ce matériel se compose de :

1°	100 waggons plates-formes, avec freins à main.	3,800 francs.	380,000 francs.
2°	50 waggons à bestiaux et marchandises, couverts, avec freins à main, à..	4,800 l'un. .	240,000
3°	30 waggons avec freins à vis, à.	5,350. . . .	160,500
4°	20 waggons à houille, avec freins à main, à.	4,200. . . .	84,000
5°	Bâches, accessoires, etc.		35,500
	Total.		900,000

Report		50,919 francs.
Dépenses variables suivant les conditions locales :		
EXPROPRIATIONS	3,000 francs.	3,000 francs.
TRAVAUX DIVERS (terrassements)	6,000. . . .	6,000
Total général		59,919

Soit une dépense de 60,000 francs par kilomètre.

Nous admettons pour l'établissement du compte d'exploitation un capital de 6,500,000 francs pour un chemin de fer de 100 kilomètres.

Compte d'exploitation.

2,500 francs en voyageurs. 7,500 francs en marchandises.

Nombre de voyageurs. . . $\frac{2,500}{0,06}$ = 41,666 par an ; par jour, 114.

Marchandises. . . . . $\frac{7,500}{0,06}$ = 125,000 tonnes par an ; par jour, 342.

Le trafic journalier est de 500 tonnes brutes environ, correspondant à trois trains trois dixièmes complétement chargés. Nous en supposons six.

Dépenses d'exploitation.

	Dépense par kilomètre.
1° TRACTION.	
7 personnels de train	0f,1150
Combustible, 30 kilogrammes à 25 francs.	0 ,7500
Graissage, 50 grammes d'huile à 1f,20.	0 ,0600
Entretien de la machine à 0f,20.	0 ,2000
Entretien de 12 véhicules à 0f,013.	0 ,1560
2° MOUVEMENT (suivant le détail [1]).	
Service central et gares.	0 ,2128
A reporter	1 ,4938

[1] MOUVEMENT.

Service central et des gares :

1 Inspecteur	3,000
2 contrôleurs à 2,400 francs . . .	4,800
A reporter	7,800

Report.	1 f,4938
Personnel des trains.	0 ,1150
Frais divers aux stations.	0 ,0913
3° Surveillance et entretien de la voie [1] : à raison de 1,500 francs par kilomètre.	0 ,6849
4° Administration centrale [2].	0 ,2283
	2f,6133

Bénéfice total, 427,926 francs. Le capital est de 6,500,000 francs; le bénéfice de 6,58 pour 100.

Report.	7,800 francs.	
2 garde-magasins.	3,600	
2 chefs de gare à 2,600 francs. . .	5,200	
10 surveillants de la voie préposés aux stations.	15,000	
2 chefs d'équipe à 1,500 francs. .	3,000	
12 manœuvres à 1,000 francs. . .	12,000	
	46,600 francs.	46,600
Trains.		
Personnel des trains { conducteurs à 2,400 fr. garde-freins à 1,200 fr.	25,200 francs.	
Frais divers, éclairage, et chauffage, etc.	20,000	
	91,800 francs.	91,800 francs.

[1] Ce chapitre coûte au chemin du Midi 2,300 francs par kilomètre ; au chemin d'Orléans, l'entretien de la voie et des bâtiments coûte 2,500 francs ; nous considérons ces chiffres comme une confirmation de celui que nous avons adopté.

[2] Administration centrale.

Conseil d'administration.	8,900 francs.	
Agent général.	10,000	
Chef comptable.	3,600	
2 comptables.	3,600	
1 expéditionnaire :	1,800	
Garçon de bureau.	1,200	
Loyers, contributions, frais divers.	20,900	
	50,000 francs.	50,000

Recette par train kilométrique.

Marchandises $\frac{7,500}{2,190}$.	3f,425
Voyageurs, $\frac{2,500}{2,190}$.	1 ,142
	4f,567
Dépense par train kilométrique.	2 ,613
Différence.	1f,954

EXAMEN DES RÉSULTATS PRÉCÉDENTS.

Les résultats que nous venons d'obtenir des divers exemples qui précèdent peuvent être soumis à deux critiques.

L'une porte sur le système d'exploitation que nous avons supposé, et sur les économies qu'il permet de réaliser par rapport aux dépenses actuelles des grandes lignes. A ce point de vue, les chiffres que nous avons adoptés peuvent être contestés. Nous avons exposé plus haut, un peu brièvement à la vérité, les conditions générales de l'exploitation de ces lignes à faible trafic, et elles répondent suffisamment à ces objections [1]. Ce ne sont point, d'ailleurs, les plus graves, car elles sont tout à fait indépendantes de la solution spéciale que nous proposons.

Les objections qui méritent un plus sérieux examen sont celles qui sont relatives à la base même de la solution proposée, et qui

---

[1] L'exploitation des chemins américains nous fournit un contrôle précieux des chiffres que nous avons avancés. Nous tirons du rapport de M. Douglas Galton, sur les chemins de fer américains, le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES LIGNES.	LONGUEUR.	DÉPENSES D'EXPLOITATION PAR KILOMÈTRE DE TRAIN PARCOURU.			
		Entretien de la voie.	Entretien des machines et matériel roulant.	Mouvement et traction.	TOTAL.
Chemin de fer New-York et Érié.	716k,143	0f,607	0f,402	1f,77	2f,779
Buffalo and New-York City.....	146k,446	0f,95	0f,59	1f,09	2f,63
Baltimore and Ohio.....	621k,19	0f,723	0f,50	0f,946	2f,169

Le coût d'un train kilométrique est très-sensiblement le même que celui qui résulte de nos calculs, malgré l'élévation du prix de la main-d'œuvre et des matières premières en Amérique.

découlent directement de l'adoption des grandes pentes. Nous devons, à ce sujet, accompagner nos chiffres de quelques éclaircissements qui en démontreront l'exactitude.

L'opinion la plus généralement répandue est que les grandes pentes ont, sur le prix de revient de l'exploitation, une influence considérable. Quelques ingénieurs prétendent que ce prix de revient est environ trois fois et demi plus élevé sur des rampes de 35 millimètres que sur des rampes de 5 millimètres. Cette assertion est empreinte d'une grande exagération.

Quelle peut être en effet l'influence de la pente sur l'exploitation? Elle ne peut agir que de deux manières : en réduisant le tonnage du train que peut remorquer une machine d'une puissance donnée, ou bien, en augmentant pour un train d'un tonnage déterminé la puissance de la machine nécessaire et par suite la dépense de combustible; car tous les autres frais, entretien et surveillance de la voie, personnel des trains, entretien du matériel et des machines, sont à très-peu près constants.

Cette dépense de combustible varie proportionnellement à l'effort de traction de la machine, qui ne varie lui-même qu'avec la pente. Or, les frais de traction variables avec la pente ne représentent environ que le huitième des dépenses totales d'exploitation ; en admettant donc que ces frais soient quadruplés sur une rampe de 35^{mm}, le prix de revient du train kilométrique ne serait accru que dans le rapport de 11 à 8 [1].

---

[1] A ce sujet, nous ne pouvons passer sous silence un exemple cité par M. Perdonnet dans son *Traité élémentaire des chemins de fer*. Il s'agit d'une étude de M. Koller sur le prix de revient de l'exploitation du chemin de fer de Turin à Gênes, dont une section, celle de Pontedecimo à Busalla, présente une pente moyenne de $28^{mm},2$, et une pente maxima de 35^{mm}. Il résulterait de cette étude, qui est le fruit d'une expérience directe qui n'a duré qu'un mois, que le prix de revient d'une tonne transportée à 1 kilomètre serait sur cette section de $0^{f},14$. Sans entrer dans le détail des chiffres sur lesquels M. Koller a cru pouvoir fonder cette évaluation, nous dirons que le compte-rendu officiel de l'exploitation du chemin de Turin à Gênes, pour l'exercice 1858, porte le prix de revient de

Puisque, en effet, l'élément principal qui varie avec la pente est la dépense de combustible, et que cette dépense varie proportionnellement à l'effort de traction de la machine, nous trouvons sur les grandes lignes un grand nombre d'exemples qui, par analogie, peuvent servir à contrôler nos évaluations.

Les machines Engerth du Nord, fournissant un effort de traction continu de 5,500 kilogrammes, brûlent 35 kilogrammes par kilomètre [1].

La machine de M. Beugniot, pour un effort de 5,000^{k}, brûle environ 17 kilogrammes en moyenne (remonte et descente).

Tous ces faits conduisent, pour notre hypothèse, à une dépense moyenne inférieure à 30 kilogrammes, car il ne faut pas établir les frais de traction comme si le chemin ne se composait que

---

la tonne transportée à 1 kilomètre sur le plan incliné de Busalla, à 0^{f},1230, et ce prix tient à des circonstances absolument exceptionnelles qui ne permettent de tirer de ce résultat aucune conclusion générale :

En premier lieu, le trafic est presque en entier à la remonte, et presque nul à la descente; par suite, le chargement moyen des trains est de 20^{t},90, à peu près le quart de celui que nous supposons dans notre exemple.

Le prix du combustible est, sur la ligne de Turin à Gênes, de 70 francs la tonne, au lieu de 25 francs que nous avons supposé. De sorte que, tandis que nous admettons une consommation de 30 kilogrammes de houille par kilomètre, qui ne nous coûtent que 0^{f},75, les machines du plan incliné de Busalla ne consomment que 11^{k},26 par kilomètre, qui représentent une dépense de 0^{f},79.

Ces explications suffisent à montrer que le prix de revient réel de la tonne kilométrique sur la section de Busalla n'est nullement en désaccord avec celui qui ressort de nos calculs.

Voici d'ailleurs les dépenses d'exploitation par locomotive du plan incliné de Saint-Germain (longueur 2,500^{m}, pente 35^{mm}), pendant les quatre premiers mois de 1861 :

Distance parcourue, kilomètres.		10229^{k}
Dépense par machine et par kilomètre. . . .	1^{f},22.	
Nombre de tonnes kilométriques		383,000
Dépense par tonne et par kilomètre	0^{f},035.	

Il y a loin de ce prix de revient à celui de 0,12 qui n'est, au chemin de Busalla à Pontedecimo, que la conséquence de circonstances toutes spéciales.

[1] Voir l'Appendice, § 4, *De la traversée des Alpes*, de M. E. Flachat.

d'une seule rampe continue de $0^m,03$ dans toute sa longueur. Il faut tenir compte, dans le cas général, que nous examinons, des paliers et de la descente.

Nous n'hésitons pas à dire que, dans la plupart des cas, la somme des pentes au-dessus de 10 millimètres d'une route, est inférieure à 40 pour 100 de la longueur. C'est ce qui résulte d'un relevé que nous avons fait sur un grand nombre de routes, et entre autres sur celles du département du Cher[1].

Par conséquent, les conditions spéciales de pente n'affectent qu'environ le tiers de la ligne. Dans le cas particulier, où la longueur des pentes serait le 1/4 de la ligne, les frais de traction variables avec la pente représentant au plus le 1/8 des frais totaux d'exploitation, en admettant que ces frais soient quadruplés sur une rampe de 36 millimètres, on voit que le prix de revient moyen du train kilométrique est augmenté dans le rapport de 35 à 32. Enfin, et nous ne saurions trop insister sur ce point, nous sommes loin d'avoir, dans cette étude, compté sur tous les progrès qu'un avenir très-prochain réserve aux machines locomotives.

L'économie présentée par la solution que nous proposons est fondée sur l'adoption simultanée de grandes pentes et de courbes de très-faible rayon. Nous pouvons aujourd'hui résoudre ce problème au moyen de machines portées par des trucks articulés. Il y a un avantage évident pour l'exploitation sur de grandes pentes à augmenter le plus possible la puissance de traction de la machine, et c'est sous ce point de vue surtout que nous nous sommes tenus dans des limites qu'il est facile de dépasser notablement. Ainsi, au lieu de deux essieux couplés pour chaque truck, rien n'est plus simple que de mettre trois essieux couplés. Le poids de la machine pourrait atteindre alors 65 tonnes, sans aucun inconvénient pour la voie.

---

[1] Voir le *Nivellement général du Cher*, par M. Bourdaloue.

La base d'accouplement ne serait que d'environ 2 mètres par chaque truck, ce qui permettrait l'emploi de courbes de 100 mètres de rayon environ.

Ces limites pourraient même être dépassées à l'aide de dispositions imaginées et appliquées récemment par divers ingénieurs, dans le but d'augmenter la base des machines en facilitant leur inscription dans les courbes.

Avec une machine de 65 tonnes à 6 essieux couplés, on remorquerait sur une rampe de 30 millimètres des trains de plus de deux cents tonnes; on se rapprocherait ainsi des conditions d'exploitation des lignes à faible pente, sauf une légère augmentation des dépenses de traction.

Comme nous l'avons déjà dit d'ailleurs, rien n'est bien nouveau dans l'emploi de machines puissantes appliquées à l'exploitation de lignes à fortes pentes et à faibles rayons de courbes.

Les machines construites pour le passage du Semmering, c'est-à-dire pour remonter des rampes de 25 millimètres avec des courbes de 180 mètres de rayon, présentent des dispositions très-analogues à celles que nous avons supposées, et dans ces conditions, elles remorquent des charges de 150 tonnes brutes environ, à la vitesse moyenne de 15 à 16 kilomètres.

Ces résultats déjà si brillants étaient obtenus il y a dix ans. Le problème que nous nous sommes posé est-il si différent de celui-là? Est-il permis de douter qu'il trouve aujourd'hui une solution certaine et facile? Les progrès réalisés dans la construction des locomotives depuis cette époque répondent d'eux-mêmes.

On peut enfin soulever une objection à l'établissement des lignes secondaires à grandes pentes et à faibles courbes, c'est la nécessité d'un matériel spécial. Quand même l'objection, qui a une valeur réelle, subsisterait dans toute sa force, nous n'hésiterions pas à répondre qu'il faut passer outre, car l'application générale des lignes à grandes courbes et à faible pente est une impossibi-

lité, tandis que le matériel spécial n'est qu'un inconvénient. Mais il faut remarquer que dans la pratique cet inconvénient sera de beaucoup atténué par ce fait que, si le matériel des grandes lignes ne peut circuler sur les petites, le matériel spécial peut parfaitement circuler sur les grandes, ce qui suffit à éviter les transbordements et les inconvénients qui les accompagnent.

Les conclusions que nous pouvons tirer de cette étude nous paraissent des plus claires. Nous voyons d'abord que l'établissement d'un chemin de fer sur la route elle-même, construit avec la plus grande économie réalisable, peut donner des résultats fructueux avec une recette brute kilométrique d'environ 7,500 francs par kilomètre.

L'application des machines à la traction, sur ces lignes, ne présente aucune difficulté qui ne puisse être complétement levée au moyen des dispositions et des précautions que nous avons indiquées.

Quant aux pentes maximum, les trois exemples que nous avons cités en montrent l'influence. Ils mettent en évidence que les pentes de $0^m,05$ constituent une limite extrême qu'il convient de ne pas dépasser, et même qu'il sera très-rarement avantageux d'atteindre.

Au contraire, les rampes de $0^m,03$ à $0^m,04$ fournissent pour l'exploitation des faibles trafics que nous avons supposés des résultats très-satisfaisants. C'est ce qui importe à la question, et nous ne saurions trop insister sur ce point. En effet, la réduction des pentes d'une route au maximum de $0^m,03$ à $0^m,04$ par mètre n'oblige généralement qu'à de très-légers sacrifices.

Cette étude, en concluant même à l'application du système à des rampes maximum de $0^m,03$ à $0^m,04$, fournit donc une solution excellente et générale.

L'exemple d'une ligne de 100 kilomètres établie le long de la route avec des rampes maximum de $0^m,03$ par mètre, pour

un trafic annuel de 10,000 francs par kilomètre, montre également que l'entreprise se trouve encore placée dans de très-bonnes conditions industrielles, même avec des tarifs moyens inférieurs à ceux des grandes lignes.

Nous croyons donc avoir atteint notre but. En effet, en appliquant le système général que nous indiquons, l'exécution des 10,000 kilomètres de chemins secondaires, indispensables à la prospérité de notre agriculture, peut cesser d'être un projet d'une exécution incertaine pour devenir une immédiate réalité. Elle peut s'entreprendre simultanément sur tous les points du territoire par l'initiative des intérêts locaux qui trouveront dans ces entreprises, à la fois, une satisfaction légitime et un placement avantageux; il ne sera pas nécessaire de recourir à l'intervention de l'Etat, pour demander au Trésor public des sacrifices qui seraient énormes si l'on devait suivre pour ces chemins les errements et les types des lignes actuelles. Serait-il possible, d'ailleurs, d'obtenir un résultat de quelque importance en partant de ce dernier principe? Nous ne le pensons pas. Si les subventions de l'Etat peuvent être accordées à de grandes lignes présentant bien évidemment un intérêt général, pour la grande masse de la population, en sera-t-il de même dans le cas qui nous occupe? Il ne s'agit que de besoins essentiellement locaux par leur nature même, et qui n'intéresseront le pays que par leur ensemble. L'Etat ne pourra donc accorder de grosses subventions à ces petites lignes, qu'en prenant l'engagement moral, sous peine d'injustice, de les seconder toutes également. On se trouvera ainsi fatalement ramené à l'exécution de toutes ces lignes par l'Etat avec la seule ressource de l'impôt. En effet, si tous les départements venaient demander en même temps à l'Etat l'exécution du réseau secondaire que chacun d'eux jugerait utile à ses intérêts, l'Etat serait contraint de prélever sur eux l'argent nécessaire à cette exécution; la question n'aura pas fait un pas, car il est puéril de de-

mander une subvention que l'on doit fournir soi-même. La solution ne doit donc pas être cherchée dans cette voie; comme nous l'avons déjà dit, elle doit se trouver dans l'initiative des intérêts locaux. Le rôle de l'Etat nous paraît être de lui laisser un libre essor, en lui abandonnant le droit et la faculté d'assurer les voies et moyens financiers, surtout en accordant pour ces concessions des cahiers de charges laissant à l'exécution la plus grande latitude. C'est en rendant aux entreprises de chemins de fer la liberté dont elles sont aujourd'hui de plus en plus privées, tandis que par une bizarre contradiction on reconnaît chaque jour les avantages de cette liberté pour toutes les autres industries, qu'on arrivera à relever la France de l'état d'infériorité dans lequel elle se trouve, au point de vue des moyens de communications, par rapport à l'Angleterre et à la Belgique; on résoudra en même temps le problème des transports à bon marché, cet élément primordial de toute production industrielle, dont le besoin se fait plus impérieusement sentir à mesure que le gouvernement accorde plus d'extension à la liberté des échanges internationaux.

FIN.

Paris. — Typographie Hennuyer, rue du Boulevard, 7.

NOTE

sur le système des chemins de fer du Bas-Rhin

PAR

M. H. DE BLONAY

Au moment où l'industrie privée se préoccupe de l'insuffisance des voies de fer d'embranchement et réclame de nouvelles lignes, il n'est sans doute pas sans intérêt pour la Société des Ingénieurs civils de recevoir communication de quelques détails sur le système des chemins de fer vicinaux, qui vient d'être inauguré dans le département du Bas-Rhin.

Mais, avant d'entrer dans ces détails, il serait à propos, croyons-nous, de jeter un coup d'œil rétrospectif sur les circonstances qui ont retardé ou favorisé le développement des chemins de fer en général. Peut-être cet examen rapide du passé fournira-t-il quelques jalons de plus pour guider vers la solution de la question à l'ordre du jour : *La création du 3^me^ réseau des chemins de fer.*

L'histoire de l'industrie des chemins de fer présente trois grandes époques qui nous paraissent résumer les différentes phases qu'elle a traversées, savoir :

1° L'époque de la création du premier réseau ou du réseau des grandes lignes;

2° L'époque de la fusion ou de la puissance des Compagnies,

3° L'époque de la création des chemins du 2^me^ réseau, que nous appellerons les chemins régionaux.

PREMIÈRE ÉPOQUE.

Dans le principe, l'industrie des chemins de fer s'inspire de l'exemple de l'Angleterre; les premiers essais et les premières concessions sont le partage de l'industrie privée; mais celle-ci a trop présumé de ses forces; soit qu'à cette époque (1838) les finances fussent ébranlées, soit que l'industrie nationale ne fût pas encore assez vivace, l'industrie privée n'est pas à la hauteur de la tâche qu'elle s'est imposée. Elle se voit obligée de solliciter l'assistance de l'Etat et de lui demander un appui indispensable pour appeler, dans cette nouvelle sphère d'action, les capitaux encore timides et circonspects.

C'est sous l'empire de ces circonstances qu'intervient, entre l'État et l'industrie privée, la transaction consacrée par la loi du 11 juin 1842. Cette loi raffermit le terrain et jette la lumière au milieu des tâtonnements : tout en déterminant les artères primordiales du réseau des voies ferrées, elle arrête un système pour leur exécution, et donne une impulsion féconde à l'esprit d'entreprise.

Le grand canevas du réseau des chemins de fer étant ainsi tracé, l'industrie, fortifiée par le puissant patronnage de l'Etat, se lance résolûment dans la carrière : tandis qu'en 1841 il n'y avait eu que 565 kilomètres exploités et 885 kilomètres concédés, on compte, 6 ans après, 2,054 kilomètres en exploitation et 4,716 kilomètres concédés.

Malheureusement le mouvement est enrayé trop tôt par les troubles de 1848; sous l'influence des circonstances politiques de cette époque, l'industrie des chemins de fer languit pendant 4 ans et ne reprend son essor qu'à la faveur des mesures décrétées par le gouvernement en 1852.

DEUXIÈME ÉPOQUE. — FUSION DES COMPAGNIES.

De cette époque date la puissance des Compagnies de chemins de fer. Le gouvernement, en les constituant fortement, en groupant dans un même réseau les lignes qui ont les mêmes intérêts et qui auraient pu devenir rivales, veut raffermir le crédit des Compagnies, assurer leur avenir et favoriser la construction de nouvelles lignes.

Le résultat dépasse les prévisions : les capitaux affluent vers les chemins de fer; la spéculation s'y porte avec tant d'ardeur, que le gouvernement, craignant que les richesses du pays soient absorbées par les chemins de fer au détriment de la production générale, se voit obligé de déclarer, à plusieurs reprises, qu'il ajournera toute demande nouvelle de concession (1854).

Les effets d'un développement si rapide ne se font pas attendre : en 1858, les caisses des chemins de fer sont épuisées, les capitaux moins productifs deviennent plus rares, et l'industrie des chemins de fer tombe dans un état de marasme qui la rend impuissante à satisfaire aux besoins de communications qui surgissent de tous côtés autour d'elle. Mais l'impulsion était donnée, il fallait marcher et marcher vite.

TROISIÈME ÉPOQUE. — CRÉATION DU DEUXIÈME RÉSEAU.

L'Etat intervient encore pour concilier les deux intérêts : dans le but de favoriser l'établissement de nouvelles lignes, il consolide le présent en le dégageant de l'*éventualité* des projets nouveaux; il encourage l'industrie des chemins de fer à se confier à l'avenir, en lui offrant des garanties suffisantes : le compromis donne lieu à la formation du deuxième réseau de chemins de fer, autrement dit, des chemins de fer régionaux.

En assignant, dans l'ensemble des mesures législatives qui ont consacré le nouveau réseau, un délai d'exécution de cinq années, le gouvernement semble vouloir calmer l'ardeur du pays à réclamer de nouvelles lignes.

Il paraissait naturel, d'ailleurs, que l'industrie eût ce temps de répit afin de pouvoir reprendre haleine, observer la direction du mouvement commercial, et puiser dans l'expérience les enseignements nécessaires pour compléter progressivement, et sans nouvelle secousse, le réseau général des chemins de fer.

Mais les circonstances autorisent bientôt le pays à demander de nouvelles voies secondaires. La question du libre échange remue si vivement les esprits, et donne lieu à de si justes préoccupations que, de tous les centres industriels restés en dehors des concessions de chemins de fer, s'élèvent des sollicitations d'autant plus légitimes que les mesures douanières frappent plus directement les localités deshéritées. C'est alors, suivant les expressions si vraies du Président de notre Société, que le « mot de *troisième* « *réseau* est prononcé; et, dans les discussions des grands corps « de l'Etat, la création de ce troisième réseau est présentée « comme une nécessité économique aussi immédiate que s'il n'en « existait pas déjà deux autres desservant le territoire d'une ma- « nière plus complète qu'on n'avait jamais osé l'espérer. »

Voilà, à grands traits, l'esquisse peut-être imparfaite de l'histoire de l'industrie des chemins de fer; bien que toute contemporaine, elle nous fournit d'utiles enseignements et il nous paraît possible d'en conclure, au profit de la question du troisième réseau, ce qui suit :

1° Que si l'industrie a été impuissante, aux différentes époques précitées, à réaliser de ses seules forces les deux premiers réseaux, à plus forte raison le sera-t-elle pour l'exécution du troisième réseau, car, suivant les expressions d'un savant publicis « Aujourd'hui les chemins les plus avantageux sont terminés, les

« centres de grande production et de transit sont desservis de-
« puis longtemps. Ce qui reste à construire peut être consid
« comme une charge plutôt que comme une source de pro-
« fits (1). »

2° Que, pour ce motif, l'intervention de l'Etat est encore plus indispensable pour ce troisième réseau qu'il ne l'était pour les deux premiers ;

3° Que le concours de l'Etat doit cependant être subordonné à celui du Département, des Communes et de l'industrie privée, attendu que la plupart des chemins d'embranchement à créer répondent à des besoins locaux d'abord, et à l'intérêt général ensuite.

Ces points établis, nous allons essayer d'exposer sommairement, comme application pratique, l'organisme constitutif des chemins de fer départementaux du Bas-Rhin.

Si ces indications ne peuvent servir à tracer un exemple à copier littéralement en tous lieux, elles auront du moins pour but de fixer certains points de repères utiles à consulter.

CHEMINS DE FER VICINAUX DU BAS-RHIN

§ I. *Bases du système.* — M. le Préfet du département du Bas-Rhin n'a pas perdu son temps à chercher, dans l'étude de théories nouvelles, des combinaisons propres à répondre aux besoins de communication qu'il avait à satisfaire.

Mettant à profit les leçons de l'expérience, il n'a point hésité à retourner en arrière, et à prendre dans le passé les éléments de ses projets d'avenir.

M. Migneret est allé puiser à deux sources qui ont été fertiles en résultats pour les communications du pays.

La première de ces sources est la loi du 21 mai 1836 sur les chemins vicinaux.

(1) Proudhon. — *Spéculateur à la Bourse.*

La seconde est la loi du 11 juin 1842 sur l'établissement du premier réseau de chemins de fer.

C'est l'heureuse association de ces deux lois qui a formé la base du réseau départemental du Bas-Rhin.

Nous nous arrêtons un instant aux dispositions essentielles de ces lois, pour indiquer leurs points de contact avec le système de chemins de fer vicinaux.

La loi du 21 mai 1836 (art. 9) a spécialement confié à l'administration départementale cette catégorie de chemins placés en haut de l'échelle des voies vicinales et appelés, à cause de l'importance des moyens de communication qu'ils établissent, *chemins vicinaux de grande communication*.

C'est le Préfet qui décide l'étude des voies de grande communication dont l'établissement est réclamé par les *relations agricoles et commerciales* du pays.

C'est le Conseil général qui, sur la proposition du Préfet et l'avis des organes municipaux et d'arrondissement, classe ces chemins; s'il le juge nécessaire, il peut en outre pourvoir à leur construction concurremment avec les Communes intéressées.

Voilà donc la compétence du Département et son initiative pour la création des nouveaux chemins de grande communication légalement consacrées.

Voyons maintenant ce que M. Migneret emprunte à la loi du 11 juin 1842, pour assurer la conversion de ces chemins en voies ferrées.

La manière dont la question est posée et le caractère départemental du chemin de fer à établir indiquent déjà que la loi de 1842, en ce qui concerne les éléments contributifs, doit recevoir, au cas présent, une application en sens inverse de l'art. 2 de cette loi. C'est ce que M. le Préfet du Bas-Rhin a fait. Alors que la loi de 1842 stipule que l'exécution des grandes lignes aura lieu par le concours de l'Etat, des Départements et des Communes, l'autorité

départementale décide que l'exécution des chemins de fer vicinaux aura lieu par le concours des Communes et du Département, dans la proportion des dépenses faites jusqu'à ce moment, par chacune des deux parties, pour la construction du réseau vicinal existant, savoir :

Dépenses des Communes	30	pour cent en argent.
	30	pour cent en prestations.
Total	60	pour cent.
Dépenses du Département	40	pour cent.
Ensemble	100	pour cent.

En même temps, par application des principes consacrés par la loi du 19 juillet 1845 (1) qui complète et modifie sur quelques points la loi de 1842 (2), elle stipule que l'ensemble de ces ressources doit servir à l'acquisition des terrains, à la construction de la voie vicinale proprement dite, et des stations.

Cette base est adoptée par le Département comme point de départ des combinaisons financières destinées à assurer l'exécution des chemins projetés.

§ II. *Etude des Projets.* — Cela posé, le projet est élaboré avec une infatigable ardeur par l'Administration des chemins vicinaux, confiée à l'habile direction de M. Coumes, Ingénieur en chef.

(1) Extrait de la loi du 19 juillet 1845. — Les terrassements, les ouvrages d'art et les stations seront à la charge du Gouvernement.

La pose de la voie de fer, y compris l'ensablement, le matériel d'exploitation, les frais d'entretien et de réparations, seront à la charge des Compagnies.

(2) Extrait de la loi du 11 juin 1842. – Art. 2. L'exécution des grandes lignes aura lieu par le concours de l'Etat, des Départements traversés, des Communes intéressées et de l'industrie privée, dans les proportions et suivant les formes établies par les articles ci-après.

Art. 3. — Les indemnités dues pour les terrains et les bâtiments occupés par l'établissement du chemin de fer seront payées par l'Etat; mais le Département et les Communes en rembourseront les deux tiers.

Le nouveau réseau devait comprendre neuf chemins formant une longueur totale de 203 kilomètres, et nécessitant, par conséquent, neuf études différentes. Ces études ont été achevées en moins d'un an par le personnel ordinaire des agents-voyers qui a mis un dévouement vraiment remarquable à se familiariser, en si peu de temps, avec ces questions nouvelles pour lui à bien des égards, et à accomplir si promptement une mission aussi importante.

Nous ne parlerons ici que des chemins dont la réalisation était la plus urgente au point de vue des intérêts agricoles et industriels du département, et dont l'exécution est désormais assurée, savoir :

1° Le chemin de Strasbourg à Barr et à Wasselonne, d'une longueur de 49^{km}15 ;

2° Le chemin de Haguenau à Niederbronn, d'une longueur de 19^{km}62.

Le premier est destiné à relier à Strasbourg et au réseau de l'Est les cantons agricoles les plus riches du département et qui possèdent en même temps de nombreuses industries.

Le second doit relier au réseau de l'est :

1° Les huit établissements métallurgiques de MM. de Dietrich et C^{ie}, qui, à eux seuls, fournissent un trafic de plus de 6000 tonnes de marchandises ;

2° L'établissement thermal de Niederbronn ;

3° Les nombreuses carrières, scieries, tuileries, fabriques de briques réfractaires situées dans ce pays.

Enfin, il doit ouvrir un riche débouché aux immenses forêts communales et domaniales situées dans le pays de Niederbronn et de Bitsche.

Le nombre des communes désignées comme étant intéressées à la construction du chemin est :

1° Pour le chemin de Strasbourg, Barr, Wasselonne, de quatre-vingt-cinq communes comprenant une population de 169,036 habitants ;

2° Pour le chemin de Haguenau à Niederbronn, de vingt-neuf communes, comprenant une population de 35,303 habitants.

A l'exemple de ce qui se pratique en matière de classement des voies vicinales, M. le Directeur des chemins vicinaux a désigné comme communes usagères :

1° Celles dont le territoire est traversé ;

2° Celles non traversées et qui situées dans un rayon de 5 kilomètres feront usage du chemin ;

3° Celles non traversées et qui, quoique situées dans un rayon de plus de 5 kilomètres, feront usage du nouveau chemin.

En ce qui concerne l'application des contingents communaux, M. Coumes a également admis les éléments consacrés par la légalisation des chemins vicinaux.

Ces éléments sont :

1° La population des communes ;

2° La longueur du chemin projeté, dont la commune se servira le plus fréquemment ;

3° Les ressources de la commune légalement exigibles pour la grande vicinalité (1);

4° Le trafic probable en voyageurs et en marchandises de toute espèce, sur le territoire de la commune.

5° Enfin les sujétions locales du tracé (2) provenant de la con-

(1) Les ressources ordinaires de la grande vicinalité, en dehors des subventions départementales sont :

1° Les ressources ordinaires des communes ;

2° Les prestations (2 jours sur les 3 autorisés par la loi) ;

Les centimes spéciaux communaux (2/3 des centimes spéciaux dont le maximum est de cinq).

(2) La configuration du sol, l'emplacement assigné à une station, peuvent nécessiter des déviations du tracé au profit ou au détriment d'une commune ; la proximité d'une usine peut motiver des constructions plus spacieuses, etc. Toutes ces considérations doivent nécessairement influer sur la fixation des contingents communaux.

figuration du sol, de l'emplacement et de l'importance de la station.

Tous ces éléments forment autant de coefficients qui ont été appliqués pour constituer le chiffre des contingents communaux dans les proportions indiquées plus haut.

Quant au délai assigné pour la réalisation des ressources, il a été fixé à huit ans pour les deux chemins.

Ce délai serait un peu long et ne répondrait qu'imparfaitement à l'impatience des populations intéressées et de l'industrie locale, si M. le Préfet n'avait pas la certitude de le raccourcir d'une manière notable par des combinaisons que lui faciliteront le bon vouloir des Communes et l'état prospère des chemins vicinaux proprement dits.

§ 3. *Instruction administrative des projets.* — Le projet préparé d'après ces éléments a dû être soumis à l'épreuve des Conseils municipaux et d'arrondissements, puis à la sanction du Conseil général.

Les Conseils municipaux ont adhéré presqu'à l'unanimité aux propositions de l'autorité préfectoriale ; quelques Communes rurales seulement ont contesté l'utilité du chemin au point de vue de leur intérêt, et ont refusé de voter les contingents qui leur étaient demandés (1) ; mais par une heureuse disposition, la loi de 1836 prévoit le cas où, par suite d'un aveuglement obstiné, une ou plusieurs Communes voudraient s'opposer à l'exécution du projet ; l'art. 5 de cette loi donne à l'autorité les moyens de faire triompher l'intérêt de la majorité de l'opposition d'une faible minorité, et permet au Préfet d'inscrire d'office, la quote-part refusée, dans le budget de la Commune récalcitrante.

(1) Pour le chemin de Haguenau à Niederbronn, toutes les communes ont adhéré au projet.

Pour le chemin de Strasbourg à Wasselonne et à Baw, 6 sur 85 ont refusé leur concours, dans le principe.

Les Conseils d'arrondissement se sont pleinement associés aux vues de l'autorité départementale et aux votes des Conseils municipaux.

Ces projets, s'appuyant ainsi sur l'adhésion des organes les plus directs des intérêts publics, ont été présentés au Conseil général, qui, en conformité de l'art. 7 de la loi de 1836, a *classé* les chemins, *déterminé leur direction, désigné* les communes qui avaient à contribuer à leur construction, et a, en même temps, voté la part contributive du Département dans l'ensemble de la dépense.

Enfin, M. le Préfet, pour couronner l'ensemble des mesures administratives, a déclaré d'utilité publique l'ouverture des chemins classés, et a prescrit les acquisitions de terrains nécessaires.

Quoi de plus simple que cette procédure? Quoi de plus pratique que les dispositions législatives qui la régissent? Aussi, grâce aux moyens d'exécution qu'elles ont mis entre les mains de l'administration départementale, le problème des chemins de fer vicinaux a-t-il été résolu dans l'espace de quelques mois. En effet, le 21 mars 1859, les premiers chemins de fer vicinaux étaient classés, et la loi intervenue le 16 juin suivant leur assurait la sanction du gouvernement « *en autorisant le Département à s'imposer « extraordinairement pour la construction des chemins classés « comme lignes vicinales de grande communication pour être ulté- « rieurement, s'il y a lieu, convertis en embranchements de che- « mins de fer.* » Il ne restait donc plus qu'à pourvoir à leur achèvement et à leur exploitation.

§ IV. *Négociations du Département pour l'achèvement et l'exploitation du chemin.* — L'autorité départementale s'est mise d'abord en rapport avec la Compagnie de l'Est; elle lui a offert de lui concéder les chemins vicinaux exécutés d'après les bases ci-dessus indiquées, plus les stations, à la charge par la Compagnie de prendre à son compte ;

1° La construction des voies ferrées et des ateliers,

2° La fourniture du matériel roulant;

3° L'entretien des ouvrages de toute nature ;

4° Les frais d'exploitation.

En échange de ces dépenses, la Compagnie de l'Est aurait perçu les produits d'après un tarif, et pendant une période de temps déterminée.

La Compagnie de l'Est a présenté une contre-proposition d'après laquelle elle offrait de fournir le matériel, et d'exploiter chemin moyennant un prix de fermage annuel de 8,500 francs par kilomètre, à condition que le Département achève complétement *les voies de fer.*

Mais cette combinaison ne pouvait se concilier avec la comptabilité départementale, et les deux parties n'ont pu tomber d'accord, ni sur ce point, ni sur le chiffre probable des produits bruts d'exploitation.

Le Conseil général a décidé alors, sur la proposition de Monsieur le Préfet:

« 1° Que pour l'exploitation des chemins vicinaux classés, il « sera fait appel au concours d'une Compagnie, avec faculté de « concéder ensemble ou séparément les chemins précités.

« 2° Que cette concession sera faite aux conditions du cahier « des charges de l'Est, tel qu'il est imprimé au *Moniteur* du 4 « mars 1859, et sous les modifications indiquées dans les projets.

« 3° Que le traité provisoire qui sera conclu avec la Compagnie « sera soumis à son approbation et à la sanction du gouverne- « ment avant de devenir obligatoire pour le Département. »

En même temps, pour faciliter les concessions projetées et encourager la constitution des Compagnies locales, le Conseil général a décidé que tous les bâtiments nécessaires à l'exploitation, et non prévus dans les projets, les alimentations d'eau, le télégraphe électrique et les traverses en hêtre ou pin (mais non com-

pris les frais d'injection) seront ajoutés à la dépense prise à la charge du Département.

L'appel du Département a été entendu :

Messieurs de Diétrich et Cie, maîtres de forges à Niederbronn, dont les établissements métallurgiques réclament depuis longtemps les moyens de transport faciles et économiques des chemins de fer, ont consenti à accepter la concession du chemin de fer de Haguenau à Niederbronn; plus tard M. Coulaux, maire de Strasbourg et chef d'une des grandes industries du département que le chemin de Strasbourg à Wasselonne doit desservir, a formé une société pour la concession de cette dernière ligne.

§ V. *Base des projets de traité. — Proposition primitive de MM. de Diétrich d'exploiter par chevaux.* — Les projets de traité et de cahier des charges ont été rédigés de telle sorte que la question du *chemin vicinal* fut distinctement scindée de la question de *chemin de fer*, afin de réserver toute latitude à l'intervention gouvernementale.

Ainsi, le Département du Bas-Rhin s'engageait à faire construire un chemin vicinal de grande communication, susceptible d'être converti en chemin de fer si le gouvernement en donnait l'autorisation.

Pour tout ce qui concerne la transformation du chemin en voie ferrée, le projet de traité présentait un caractère éventuel et subordonnait sa réalisation à l'autorisation du gouvernement. Il stipulait, en outre, que, dans le cas où cette transformation serait autorisée, le Département interviendrait au moyen des subventions jugées nécessaires pour aider les concessionnaires à la réaliser.

Etablis sur ces bases, les projets de traité déterminaient ainsi qu'il suit les charges du Département et des concessionnaires.

Charges du Département.

A

1° Acquisition des terrains;

2° Terrassements;

3° Ouvrages d'art à la rencontre de tous les cours d'eau et fossés;

4° Chaussées d'empierrement ou de sable graveleux pour former le ballast servant d'assiette aux traverses;

5° Construction des dépôts de matériaux pour les pépinières et l'entretien de la chaussée;

6° Construction des raccordements des chemins avec toutes les routes et chemins rencontrés.

(1) B

7 Allocation d'une subvention représentant la valeur des traverses, en bois de hêtre ou de pin, à fournir par le concessionnaire;

8° Allocation d'une subvention pour les poteaux et les fils du télégraphe électrique;

9° Allocation d'une subvention représentant la dépense de la construction des stations et des maisons et guérites de garde, y compris les hangars de marchandises avec quais de chargement, remises des locomotives, et l'établissement des réservoirs d'eau.

10° Allocation d'une subvention représentant la dépense des barrières et des clôtures, partout où elles seront exigées.

(1) Il est à remarquer que, si les concessionnaires n'étaient pas tombés d'accord sur le montant des travaux et fournitures énoncés à l'art. B, le Département aurait eu la faculté de les faire exécuter par voie d'adjudication.

Charges des concessionnaires.

1° Injection des traverses en bois de support des rails, d'après le procédé Boucherie ou tout autre équivalent;

2° Fourniture des rails avec tous les accessoires, tels que plaques tournantes, changement de voie, aiguilles, mécanismes et signaux, tant pour la voie principale que pour les voies de garage;

3° Pose de la voie principale et des voies de garage, y compris l'approche des matériaux;

4° Fourniture et pose des machines et pompes pour remplir les réservoirs d'eau, des grues hydrauliques, des grues et engins pour la manœuvre des marchandises;

5° Fourniture des ateliers et de leur outillage pour la réparation et l'entretien du matériel roulant;

6° Fourniture du mobilier des stations et des maisons et guérites de gardes;

7° Fourniture et pose de tous les appareils électriques autres que les poteaux et les fils;

8° Fourniture du matériel roulant, comprenant les locomotives, les voitures de voyageurs, les wagons de marchandises, et généralement tout ce qui ne se trouve pas compris dans les travaux à la charge du Département; enfin, obligation de pourvoir à tous les frais d'exploitation.

Pour le chemin de Haguenau à Niederbronn, les concessionnaires supportent, en outre, les charges suivantes :

1° Versement d'une subvention volontaire de 50,000 francs que MM. de Diétrich et C^ie^ se sont engagés à fournir pour la construction du chemin;

2° Cession gratuite des terrains qui leur appartiennent et qui sont occupés par le chemin de fer;

3° Construction d'un embranchement sur leur usine de Reischs-

hoffen destinée à servir d'atelier de réparation du matériel roulant.

Toutefois, malgré les avantages offerts par le Département, la maison de Diétrich et Cie n'a pu s'engager, en traitant avec le Département, à exploiter le chemin, dès le début, par locomotives; d'après les évaluations, les recettes, trop peu productives, eu égard à la faible longueur du chemin, n'auraient pas couvert, du moins pendant les premières années, les intérêts du capital engagé, et les dépenses d'exploitation, trop chargées de frais généraux par suite du peu d'étendue de la ligne.

Elle s'est réservé la faculté d'exploiter le chemin par traction *de chevaux*, jusqu'à ce que le trafic fût suffisamment développé pour permettre la traction par vapeur; elle a admis qu'il fallait un délai de 10 ans pour atteindre ce développement.

Le Conseil général a adopté cette réserve.

Pendant que la maison de Diétrich négociait avec le Département, elle s'entendait, en même temps, avec la Compagnie de l'Est au sujet de l'usage commun de la gare de Haguenau et de l'échange de services réciproques. Ces arrangements ont fait l'objet d'un traité conclu entre les deux parties.

Plus tard, la Compagnie de Strasbourg à Wasselonne et à Barr a pris des arrangements analogues avec la Compagnie de l'Est.

§ VI. *Présentation du projet à la sanction du gouvernement.* — C'est dans ces conditions que les projets de chemins de fer vicinaux ont été présentés au gouvernement.

D'après les termes des projets de traité et de cahier des charges, les nouvelles lignes devaient être exécutées de la manière la plus économique. Ainsi, on avait entre autres proposé l'adoption du rail de 28 kilog. et la faculté de supprimer les clôtures autres que celles entourant les gares.

Il eût été, en effet, désirable que le gouvernement consacrât divers principes qui permissent l'exécution de chemins de fer analogues, dans des conditions d'économie en rapport avec le carac-

tère secondaire que devaient présenter les chemins du nouveau réseau.

Cependant, le gouvernement n'a pas cru devoir approuver ces dispositions, sans doute pour maintenir de l'uniformité dans la construction des divers chemins de fer. La traction par chevaux paraissait aussi devoir être un obstacle à l'accueil de la demande de concession de MM. de Diétrich. Ces circonstances ont déterminé la maison de Diétrich et la société de Strasbourg à Wasselonne et Barr à solliciter de l'État un secours de 12,000 fr. par kilomètre, et en même temps la garantie d'un minimum d'intérêt sur le montant du surplus du capital qu'ils avaient à dépenser.

Les sollicitations des concessionnaires ont été l'objet de la haute faveur du gouvernement; et le Conseil d'État, en particulier, par l'organe de son rapporteur, a chaleureusement patronné leurs demandes de secours auprès du pouvoir législatif; seulement, quant à la question de garantie d'intérêts, le Conseil d'État a pensé qu'en l'accordant on créerait un précédent qui pourrait se convertir en une règle générale compromettante pour le trésor public.

Cet avis a prévalu au sein du Corps législatif qui a adopté le projet de loi relatif à la subvention de 12,000 fr. par kilomètre et a donné par sa décision une *consécration définitive au système des chemins de fer vicinaux du Bas-Rhin.*

C'est ainsi que ce département aura eu l'honneur d'inaugurer les premières lignes du troisième réseau; c'est ainsi que, suivant les paroles de M. le rapporteur du Conseil d'État, « il aura donné « un exemple du concours efficace que l'on peut attendre de po- « pulations énergiques telles que celles qui habitent les provinces « alsaciennes.

« Le législateur qui a encouragé cette initiative féconde pourra, « désormais, répondre aux sollicitations des villes et des autres

« producteurs qui réclament des voies ferrées : Aidez-vous, l'État « vous aidera. »

Quelques mots encore sur les conditions d'exécution technique des chemins de fer vicinaux. Nous empruntons ces détails presque textuellement au savant travail de Monsieur l'Ingénieur en chef Coumes, sur les projets d'établissement de ces chemins.

M. Coumes s'est proposé, dans l'étude de ces projets, le but suivant : *exécution des chemins dans les conditions les plus économiques possibles, tout en donnant satisfaction aux intérêts des populations usagères, et tout en observant les règles de la* SOLIDITÉ *et de la* SÉCURITÉ.

Dans l'étude des tracés, dit-il, on n'a point cherché « les ali- « gnements propres à motiver des ouvrages dispendieux afin d'y « développer le talent de nos agents, ou à créer des effets pitto- « resques en bouleversant le sol, mais les directions capables de « procurer la moindre dépense en occupation de terrains et en « travaux de toute espèce. »

Voie.— Les chemins sont prévus à une voie; et la largeur d'axe en axe des rails est celle adoptée sur les grands réseaux, soit. 1m50

La distance du rail à l'arête supérieure du ballast de 1m00 de chaque côté, soit pour deux. 2 00

La largeur de chaque banquette 0m50, soit pour deux. 1 00

Largeur de la base du talus du ballast (talus à 1/2 pour 1 et 0m50 d'épaisseur). 1 50

Ensemble. 6m00

Soit 6 mètres de largeur entre les arêtes extérieures des accotements pour les parties en remblai.

La largeur au sommet des terrassements du profil en déblai entre les arêtes intérieures est de 5m50.

La largeur des fossés en gueule est fixée à 0m75, la largeur de la banquette extérieure aux fossés ou au pied du talus à 0m50, la largeur de l'entrevoie dans les gares à 1m80.

Pentes. — L'inclinaison maximum des chemins est de 0m010 par mètre (1).

Courbes. — Le rayon minimum est de 300 mètres (2).

Gares d'évitements. — Les gares d'évitements sont prévues à toutes les stations avec une longueur de 200 mètres.

Stations. — Les stations sont de trois ordres, selon l'importance du trafic de la gare.

ÉVALUATION DES PROJETS.

Les dépenses de premier établissement des chemins construits dans les conditions que nous venons d'examiner sont estimées aux chiffres suivants :

1° Chemins de Strasbourg à Barr, Molsheim et Wasselonne

(Longueur 50 kilomètres)

		DÉPENSE	
		TOTALE	PAR KILOMÈT.
A. Dépenses à la charge du Département (d'après détail donné plus haut) ci.		2,279,960	48,086
B. Dépenses à la charge des concessionnaires (d'après détail donné plus haut) ci.	2,900,000	2,900,000	58,000
A déduire la subvention de l'État à raison de 12,000 fr. par kilomètre, soit.	600,000		
reste pour dépense à la charge des concessionnaires.	2,300,000		
Dépense totale pour la construction du chemin. . .		5,179,960	104,086

(1) Pour le chemin de Strasbourg à Wasselonne-Barr-Molsheim, l'inclinaison maximum est de 10 m/m; pour le chemin de Haguenau à Niederbronn, elle est de 6 millimètres.

(2) Pour le chemin de Strasbourg à Wasselonne-Barr-Molsheim, le rayon minimum est de 300 mètres; et pour celui de Haguenau à Niederbronn, il est de 400 mètres.

2° Chemin de Haguenau à Niederbronn

(Longueur, en nombre rond, 20 kilomètres.)

	DÉPENSE	
	TOTALE	PAR KILOMÈT.
A. Dépenses à la charge du Département (d'après détail donné plus haut), ci	610,000	30,500
B. Dépense à la charge des concessionnaires (y compris les subventions volontaires et d'après détail donné plus haut), ci. 1,270,000	1,270,000	63,500
A déduire la subvention de l'Etat à raison de 12,000 fr. par kilomètre, soit 240,000		
Reste pour dépense à la charge des concessionnaires 1,030,000		
Dépense totale pour la construction du chemin. .	1,880,000	94,000

Telles sont les combinaisons à la fois simples et ingénieuses que M. le Préfet du Bas-Rhin a adoptées pour créer les premières lignes du troisième réseau.

Nous n'avons examiné dans ce court résumé que la question théorique de la question.

Lorsque les travaux seront achevés et l'exploitation ouverte, nous nous proposons de communiquer à la Société des Ingénieurs civils quelques détails pratiques sur les conditions d'exécution, et sur le prix de revient des nouvelles lignes départementales.

Dès à présent nous dirons que, malgré les difficultés que présentait la construction des chemins de fer par *voie de prestation*, le Département a déjà fait exécuter, sur la ligne de Haguenau à Niederbronn (dont nous nous sommes spécialement occupés), une étendue de 11 kilomètres dans l'espace de dix mois environ, et que, jusqu'à ce moment, les prévisions de ses devis n'ont pas été dépassées.

Si l'ensemble de ces indications pouvait contribuer à faciliter la olution de la question des chemins de fer d'embranchement, qui préoccupe à si juste titre nos collègues, nous aurions atteint le but que nous nous étions proposé en présentant l'aperçu qui précède.

De la traversée des Alpes par un chemin de fer

PAR

M. EUGÈNE FLACHAT

ANALYSE

PAR

MM. H. MATHIEU ET E. DELIGNY

EXPOSÉ

M. Eugène Flachat a développé dans une seconde publication, déposée par lui à la Société, le système qu'il avait proposé à la discussion publique pour la traversée des Alpes par un chemin de fer.

Depuis la première publication de M. Flachat, une année s'est écoulée, mais la question posée par lui est restée tout actuelle. La traversée des Alpes par des tunnels est toujours en présence du problème, non résolu, de la durée d'exécution, et cette durée, si elle doit rester subordonnée aux moyens ordinaires, est désastreuse.

Les machines perforatrices du Mont-Cenis n'ont pas encore régulièrement fonctionné; le doute est toujours permis sur leur résultat. Cependant les chemins de fer se multiplient au pied des Alpes; chaque jour les intérêts demandent une solution plus prompte, chaque jour aussi l'obstacle est plus sainement apprécié, et la part de l'exagération devient moindre.

Le premier mémoire de M. Flachat causa un étonnement presque général. Beaucoup prirent leur imagination pour juge de cette proposition de faire passer locomotives et trains à travers les neiges éternelles, et ils se figurèrent les convois emportés par la tourmente et les avalanches.

D'autres, que leur spécialité appelait à discuter plus particulièrement les questions de matériel, s'émurent vivement de l'idée d'une circulation sur les pentes rapides.

Depuis un an, l'idée s'est fait son chemin. Les obstacles climatériques examinés avec plus de calme; discutés dans leur puissance et dans leur effet, ont paru moins formidables. La viabilité admise, quelques ingénieurs arrivent à vouloir exploiter avec le matériel ordinaire peu modifié: ils dépassent déjà le promoteur lui-même du système, dans sa confiance. La nouvelle publication de M. Flachat est le développement de la première; en appliquant son projet à un passage déterminé des Alpes, le Simplon, il est conduit à étudier la question dans tous les détails techniques et industriels.

C'est de cette étude que nous venons rendre compte à la Société, en l'abrégeant autant que le permettra l'abondance de faits essentiels qu'elle contient.

Dans un exposé succinct, M. Flachat recherche celui des passages des Alpes suisses ouvrant accès en Italie, qui peut réunir le concours le plus efficace de l'Italie et de la France. Il ne trouve pas dans l'intérêt exclusivement suisse une force suffisante pour aborder l'entreprise. Il faudra l'intervention des deux nations que sépare la Suisse; on pourra l'espérer, si ce pays revient à des relations plus intimes avec nous.

Dans ces conditions, le passage du Simplon entre Brigg et Iselle appelle immédiatement la préférence. Il est sur la ligne la plus courte de Paris à Milan; il réunit en outre l'avantage d'être le passage dont l'accès, par des lignes de fer construites, est le plus

avancé. Si l'on profite de la navigation du lac Majeur, il ne reste à exécuter que 115 kilomètres pour aborder le Col sur l'ensemble des deux versants. Il reste à faire 179 kilomètres, si l'on veut une ligne non interrompue. Dans l'une ou l'autre hypothèse, l'accès au Simplon présente en chiffre rond une économie de 10,000,000 de francs, sur le passage le plus favorisé après lui, qui est le Col du Bernardin. L'économie est de 20 à 30 millions sur l'accès au Saint-Gothard.

Après cet exposé, M. Flachat étudie successivement les questions suivantes, qui embrassent tout son système en général et son application particulière au Simplon.

§ 1. Dans quelles conditions un chemin de fer traversant les Alpes doit-il être exploité pour répondre aux exigences du trafic?

§ 2. Quelle sera l'influence des rampes sur les dépenses d'établissement et d'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes?

§ 3. Quelle sera l'influence du rayon des courbes sur la dépense d'établissement et d'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes?

§ 4. Quelle est la force de traction à demander aux machines dans la traversée des Alpes?

§ 5. Comment obtenir d'une machine locomotive la puissance mécanique nécessaire pour remorquer, sur une rampe de 50 à 60 m/m, des trains de 120 à 150 tonnes, composés de véhicules susceptibles de circuler dans des courbes de 25 mètres de rayon?

§ 6. Quels obstacles le climat des cols des Alpes apportera-t-il à l'exploitation d'un chemin de fer tracé en rampes de 50 à 60 millimètres?

§ 7. Dans quelles limites convient-il d'employer l'adhérence pour gravir les rampes de 50 à 60 millimètres dans la traversée des Alpes?

§ 8. Étude du passage des Alpes par le Simplon.

§ 9. Quelles sont les relations actuelles du commerce entre l'Italie et les contrées dont les chemins de fer aboutissent au pied des Alpes?

§ 10. Dépenses d'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes.

Tarif et trafic nécessaires pour couvrir les frais d'exploitation et l'intérêt du capital.

§ 11. Description du matériel roulant.

§ 12. Résumé.

Le mouvement actuel des voyageurs et des marchandises à travers les Alpes est extrêmement entravé par les obstacles que la nature lui oppose. Il ne peut donc pas servir de base d'appréciation du trafic que pourrait espérer un chemin de fer.

D'un autre côté, l'importance des intérêts qui seraient desservis par une exploitation qui ne laisserait rien à envier aux lignes les plus favorisées sous le rapport de la sécurité et de la régularité de la circulation, est tellement évidente, tellement appréciée, que l'opinion publique reclame énergiquement, pour les passages des Alpes, des facultés de transport égales à celles des autres chemins.

Déjà les chemins suisses qui donnent accès aux Alpes ont accepté et réalisé ces conditions.

On a compris que la barrière dont les Alpes enserrent le nord de l'Italie, sur 700 à 800 kilomètres, de Nice à Inspruck, devait être franchie, non plus par des moyens précaires, mais de manière à satisfaire aux grands intérêts de la France, de l'Allemagne et de l'Italie.

Sous l'empire de cette conviction, on a décidé que les cols devaient être percés par des tunnels de 12 à 17 kilomètres ; on a voulu immédiatement la solution la plus complète du problème. Mais cette solution est, elle-même, un problème redoutable. Ces tunnels ne peuvent être attaqués que par les extrémités, et la dureté des roches est souvent excessive.

Avec les moyens ordinaires d'exécution, la durée des travaux de percement peut varier de 25 à 50 ans ; elle peut même dépasser ce dernier chiffre.

On essaie, il est vrai, des machines à perforer, mais réussiront-elles, et dans quelles limites? De combien augmenteront-elles l'avancement journalier? Admettant leur efficacité dans des roches homogènes et compactes, comment pourront-elles fonctionner dans des terrains éboulants? Dans des terrains fissurés ?

La solution par les grands tunnels, laisse donc dans l'inconnu le temps, la dépense, le produit. Elle n'est pas industriellement abordable.

Cependant les passages doivent être franchis. C'est donc à l'exploitation de vaincre la difficulté. Il faut modifier la locomotive de manière à lui donner un peu plus de force. Sous ce rapport, le passé est une garantie de succès pour l'avenir. Partout où l'on a demandé à la mécanique l'affranchissement des difficultés naturelles, on a réussi et l'on a créé des entreprises productives. En France, il est à regretter que ce moyen si simple ait été trop négligé, et que le pays et l'industrie se soient épuisés dans un luxe de constructions exagérées.

Examinons donc si, par la seule modification du matériel moteur, on pourra effectuer des transports à travers les Alpes avec une économie telle, que les produits lourds ou encombrants qui circulent sur les chemins de fer ordinaires puissent s'échanger, avec un abaissement notable de prix de vente, entre le nord et le sud.

Les données statistiques sur le mouvement actuel seraient insuffisantes. Il faudra voir si, par le rapprochement des points de production et de consommation, dans des conditions économiques, il pourra se créer un trafic aujourd'hui impossible.

Ainsi, la houille anglaise qui se consomme à Milan coûte de 55 à 65 francs par tonne. La houille de Saint-Etienne s'y vendrait à 50 francs, si la traversée du Simplon pouvait se faire à 12 centimes par kilomètre. Blanzy enverrait à un prix encore inférieur.

Le transport de l'hectolitre de blé, de Gray à Milan, coûterait 4 fr. 57. Celui de l'hectolitre de vin de Macon, 4 fr. 78. Et ainsi de cent autres produits dont les échanges sont nuls maintenant, et deviendraient actifs.

Les chemins de fer traversant les Alpes auront donc à répondre aux exigences d'un trafic de même nature, sinon de même importance, que nos grandes lignes ; ils devront donc, par leurs conditions d'établissement, n'apporter aucun retard dans le service et l'exploitation des chemins qui y aboutiront.

« La puissance des locomotives devra présenter, sur les Alpes même, les mêmes ressources de locomotion que sur les lignes ordinaires.

« La dépense d'établissement devra être sensiblement la même que celle de lignes aboutissant au pied des cols des passages.

« La dépense d'exploitation devra être couverte, quant aux différences qu'elle présentera comparativement aux lignes ordinaires, par un tarif plus élevé, afin que le capital d'établissement trouve, dans cette exploitation, le même revenu que dans les lignes aboutissant aux Alpes. »

§ 2. *Quelle sera l'influence des rampes sur la dépense d'établissement et d'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes ?*

Les chemins de fer suivent dans leur ensemble le profil général des terrains. Les ondulations secondaires sont plus ou moins rachetées par les travaux. Lorsque, surtout, un chemin réunit deux points séparés par un point de partage, le tracé est astreint à une certaine relation entre l'étendue et l'inclinaison. A partir d'une limite fixée par l'inclinaison naturelle des thalwegs, toute diminution d'inclinaison allonge la route. Plus on se rapproche, au contraire, de l'inclinaison des thalwegs, plus on raccourcit le tracé.

Pour une vitesse déterminée, l'effort de traction se compose

très-sensiblement d'une constante qui comprend la résistance au roulement et la résistance de l'air, et d'une variante proportionnelle à l'inclinaison. Mais on sait que la dépense de traction est très-loin de suivre la même progression. Les frais de personnel des trains restent proportionnels à la longueur ; le prix des machines augmente peu ; la consommation de combustible plus forte à la remonte diminue ou devient nulle à la descente.

Comme exemple, M. Flachat cite les chemins de Saint-Germain et de Versailles R. D. ; l'un est de niveau, l'autre est en rampes de 5 m/m. La dépense de traction est la même, pour des trains également composés.

Aussi, depuis l'origine des chemins de fer, le progrès a toujours consisté dans la simplification de la construction, par l'augmentation de puissance des machines. On admet aujourd'hui, comme chose courante et pratique, des rampes quadruples de celles qui, il y a vingt ans, étaient considérées comme excessives.

Lorsqu'on doit traverser, perpendiculairement à sa direction, une chaîne de montagnes, les difficultés atteignent leur maximum.

Lorsque la limite d'inclinaison que l'on s'est posée est dépassée par la pente du thalweg qui donne accès au col que l'on a choisi, on doit racheter la différence des pentes en se développant, soit par des retours sur les contreforts de la vallée, lorsque leur inclinaison est faible ; soit en remontant, sur leurs deux coteaux opposés, les vallées secondaires qui débouchent dans la principale. Quand le terrain ne se prête à aucune de ces deux combinaisons, il ne reste qu'à pénétrer en courbes ascendantes dans l'intérieur de la montagne. Ce dernier cas est très-rare et, lorsqu'il se présente, c'est généralement au débouché de la vallée du col dans la plaine ou dans la grande vallée parallèle à la chaîne principale ; alors le thalweg a une inclinaison beaucoup moindre qu'aux approches du col.

Il résulte de ce qui précède, que plus la pente admise sera forte, plus on raccourcira le trajet pour arriver au sommet, plus on aura de chance de trouver, soit dans la vallée principale descendant du col, soit dans ses affluents, les facilités de développement qui permettent d'éviter, pour un chemin de fer, des retours souterrains.

L'expérience des routes déjà établies prouve que l'on peut aborder les cols des Alpes avec des rampes de 5 à 6 centimètres par mètre. C'est le cas particulièrement du passage du Simplon. Sur le versant nord, la vallée de la Saltine, qui descend presqu'en ligne droite du col, a une inclinaison qui atteint, près du sommet, 0^m204 par mètre. La route a pu se développer sans difficulté en profitant d'une vallée accessoire, celle du Ganther. Sur le versant sud, la vallée du torrent du Simplon s'élargit assez pour permettre au besoin des retours à ciel ouvert, et plus bas, dans les gorges de la Doveria, la pente du thalweg est réduite à une limite suffisante.

La facilité qu'a présentée la construction de la route avec des pentes de 50 à 60 m/m est frappante, mais les énormes difficultés qu'eût apportées une réduction d'inclinaison, à 35 m/m par exemple, ne sont pas moins évidentes.

Suivant M. Flachat, l'adoption de pentes de 50 à 60 m/m pour un chemin de fer n'est pas arbitraire. L'adhérence, comme point d'appui de l'effort de traction, est plus que suffisante; mais il faut démontrer par l'étude la certitude de produire la puissance mécanique suffisante pour que les rampes soient franchies avec des charges rémunératrices.

Pour faire apprécier la relation des rampes de 50 à 60 m/m avec les thalwegs des différents cols des Alpes suisses, M. Flachat donne les profils de ceux-ci d'après M. Koller. Ces profils sont mesurés à partir des points où l'inclinaison des vallées dépasse 35 m/m.

M. Flachat résume dans le tableau suivant les données des six cols en ce qui concerne la hauteur à gravir sur chaque versant, la longueur du thalweg et celle d'un tracé à 50 m/m par mètre d'inclinaison. Nous donnons aussi d'après lui les profils de ces cols.

	Hauteur à franchir		Hauteur totale à franchir sur les deux versants	Longueur du thalweg naturel	Longueur d'un tracé par rampes de 50 m/m
	Versant du nord	Versant du midi			
	mètres	mètres	mètres	mètres	mètres
Splugen	1,165	1,665	2,830	3,2000	5,6600
Bernardin . . .	11,90	1,510	2,700	4,0000	5,4000
1. Lukmanier.	1,350	1,570	2,920	2,4500	5,8400
2. Lukmanier.	804	1,024	1,828	2,8500	3,6560
St-Gothard. . .	1,280	980	2,260	2,4000	4,2500
Simplon	1,355	1,120	2,475	2,5500	4,9500

On voit que tous ces passages présentent des conditions presque identiques ; la visite des lieux laisse la même impression. La solution, bonne pour l'un d'eux, sera applicable à tous. Nous ajouterons qu'elle sera également bonne pour les passages qui existent entre la France et le Piémont, depuis le petit Saint-Bernard jusqu'au col de la Tende.

La construction ne trouvera pas de difficultés autres que celles qu'ont présentées les lignes ordinaires. On sera arrivé à la pratique des rampes de 50 à 60 m/m, en rapport avec les conditions du terrain, aussi naturellement, aussi logiquement, qu'on est passé successivement de rampes de 5 m/m à des rampes de 30 à 36 m/m, comme au chemin de Gênes à Turin. M. Flachat rappelle les critiques, les objections, les oppositions que souleva la

rampe de 8 m/m à Étampes. Elle devait, disait-on, ruiner le chemin d'Orléans. De 5 m/m à 8 m/m la progression est la même que de 36 à 60. Déjà les Américains ont employé 40 à 50 m/m dans les Alleghanys.

Il fallait s'assurer de la possibilité de ralentir et d'arrêter des trains. M. Flachat a fait faire des expériences directes sur des plans inclinés à 200 et à 120 m/m. Le résultat consigné dans une note spéciale donne toute garantie. Nous ajouterons un fait, qui est personnel à l'un de nous, et qui trouve ici son application. En 1852, ayant à faire un service d'inauguration sur le chemin de fer houiller de Langreo dans les Asturies, il eut à descendre une centaine de wagons de houille, pesant, chargés, 4,600 k., sur un plan incliné à 125 m/m par mètre et de 800 mètres de longueur, dont les câbles n'étaient pas montés. Les wagons n'avaient que des freins à levier direct assez court. Il fit installer des treuils de 50 en 50 mètres pour descendre les wagons, en les retenant au besoin avec des câbles. En commençant l'opération, il reconnut bien vite l'inutilité des treuils. En serrant à fond les freins, avec un double levier, on arrêtait le wagon que plusieurs hommes ne pouvaient faire avancer sur les rails secs. En mouillant les rails, quatre hommes faisaient avancer un wagon. Sur rails secs, deux wagons, dont un seulement enrayé, pouvaient être mis en mouvement par cinq à six hommes. On fit descendre ainsi tous les wagons, sans le moindre accident, par des ouvriers complétement inexpérimentés.

Les roues étaient en fonte trempée.

Nous ne doutons pas, que sur rails secs, et sur une inclinaison semblable, un bon garde-frein ne soit complétement maître de la marche d'un wagon. Sur une pente de 50 à 60 m/m, moitié de la précédente, la sécurité sera complète. Tous les appareils, véhicules et moteurs, seront munis de freins; avec un tiers seulement fonctionnant, il y aurait excès de force d'arrêt.

En résumé, l'adoption des rampes de 50 à 60 m/m permettra la construction des chemins de fer des Alpes, dans les conditions de dépense des chemins de fer en pays de montagne, avec rampes ordinaires. La dépense de traction ne sera que partiellement augmentée ; la sécurité sera parfaitement assurée par les freins. Ces conditions d'exploitation seront d'ailleurs développées plus loin.

§ III. *Quelle sera l'influence du rayon des courbes sur la dépense d'établissement et d'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes ?*

Les inclinaisons de 50 à 60 m/m permettront, comme nous l'avons vu, de franchir sans tunnels, les cols des Alpes ; mais dans des terrains aussi accidentés, où l'on aura à se développer sur le flanc des montagnes, les travaux à faire pourraient devenir gigantesques, si l'on n'admettait pas une très-grande flexibilité dans le tracé. Cela n'a pas besoin de démonstration. Il ne faut cependant pas s'exagérer la difficulté; M. Flachat a pensé avec raison que le matériel américain suffirait, avec une modification qui ne le compliquera pas; il donne un essieu à chaque roue, afin que chacune tourne indépendamment des autres. M. Flachat a d'abord pensé qu'il serait nécessaire d'admettre des courbes de 25 mètres de rayon. Après un examen détaillé des lieux, l'un de nous est tombé d'accord avec lui sur la possibilité de limiter à 100 mètres le rayon minimum des courbes. Il n'a vu aucun point où il y ait véritablement intérêt à descendre au-dessous. Or, avec des courbes de 100 mètres, il n'est pas même nécessaire de modifier le matériel américain.

L'influence des courbes sera donc de produire une grande économie relative dans la construction. En ce qui concerne l'exploitation, elle serait d'imposer une vitesse réduite à 20 kilomètres à l'heure, si cette vitesse modérée n'était pas déjà absolument ordonnée, soit à la remonte, soit à la descente, par l'inclinaison même du chemin.

§ IV. *Quel est l'effort de traction à demander aux machines dans la traversée des Alpes?*

Les conditions d'établissement du matériel sont toutes particulières, elles empruntent ce qu'elles ont d'inaccoutumé, au tracé du chemin lui-même.

Les idées que nous allons résumer pourront étonner le vulgaire; mais, à coup sûr, elles ne surprendront pas l'ingénieur, parce que, dans tout ce qui a été conçu, tout est essentiellement pratique et peut être à juste titre considéré comme l'extension des idées et des faits sous l'empire desquels nous marchons.

Parlons d'abord des locomotives.

Quel sera l'effort de traction unitaire à développer? — Telle est la première question que pose M. Flachat. Il fixe cet effort à 8 kil. par tonne et par kilomètre sur niveau, pour un train marchant à la vitesse de 16 kilomètres, et il ajoute à ce chiffre 1 kil. par tonne et par millimètre de rampes à gravir, ainsi que l'indiquent la théorie et la pratique.

M. Flachat décompose comme suit le chiffre de 8 kil. :

1° Part due à la traction.	4,21
2° L'autre part due au mécanisme, aux courbes, aux résistances de l'air, ou du vent, au froid, à la rigidité des attelages.	3,79
Total: . . .	8,00

Certainement ce chiffre n'a rien d'exagéré, dans un pays où le vent doit avoir une action très-grande sur la marche des trains, surtout quand ils lui présenteront le flanc.

On pourra se faire une idée de cette influence, en se rappelant que sur le chemin du Midi, entre Narbonne et Perpignan, deux trains ont été renversés presque au même moment, à 20 kilomètres de distance, par la violence du cers ou mistral, vent soufflant des terres, comme on le sait.

Ainsi donc, le vent d'abord, le froid ensuite, sont des éléments avec lesquels il faut compter.

§ V. *Comment obtenir d'une locomotive la puissance nécessaire pour remorquer, sur une rampe de* 50 *à* 60 *m/m, des trains de* 120 *à* 150 *tonnes composés de véhicules susceptibles de circuler dans des courbes de* 25 *mètres de rayon?*

M. E. Flachat trouve les éléments de la solution qu'il propose, dans l'examen comparatif des divers types de locomotives qui ont été faits depuis l'origine des chemins de fer.

Il classe ces types en 3 catégories :

1° Les machines qui servent exclusivement au transport des voyageurs;

2° Celles qui font les transports mixtes des marchandises et des voyageurs;

3° Celles qui sont exclusivement employées au transport des marchandises.

Ce tableau est trop intéressant pour ne pas le reproduire ici en entier.

NATURE des MACHINES	INDICATION du chemin sur lequel la machine circule	NOM du constructeur	DATE DE LA CONSTRUCTION	NUMÉRO DE LA MACHINE	SURFACE DE CHAUFFE	VOLUME DE QUATRE CYLINDRÉES	CIRCONFÉRENCE DES ROUES	VOLUME DES CYLINDRÉES	
								PAR KILOMÈTRE	par m. carré de surface dechauffe et par kilom.
					m2.	m3.	m.	m3.	m3.
Voyageurs	Ouest-Versailles	Scharp	1840	1	55,880	0,1573	5,215	30,177	0,540
Id.	Ouest-Havre	Buddicom	1845	2	64,668	0,2118	5,262	40,262	0,622
Id.	Est	Cail	1847	3	74,594	0,2540	5,278	48,132	0,658
Id.	Lyon	Cail	1847	4	82,150	0,2721	5,655	48,132	0,598
Id.	Lyon	Cail	1856	5	90,290	0,3015	5,686	53,041	0,587
Id.	Orléans	Polonceau	1854	6	78,928	0,3015	6,368	47,360	0,600
Id.	Midi	Gouin	1856	7	95,830	0,3103	6,592	47,042	0,490
Crampton	Nord	Cail	1847	8	100,550	0,2764	6,597	41,907	0,416
Mixtes	Midi	Gouin	1855	9	95,869	0,3103	5,416	56,774	0,592
Id.	Ouest	Cavé	1848	10	85,800	0,2500	5,026	49,948	0,582
Id.	Lyon	Gouin	1849	11	85,460	0,2813	5,026	56,185	0,657
Marchandises	Orléans	Stephenson	1845	12	68,798	0,2769	4,555	60,795	0,883
Id.	Lyon	Cail	1850	13	99,943	0,3325	4,712	70,565	0,706
Id.	Ouest	Gouin	1857	13 b	129,404	0,4254	4,712	90,200	0,697
Id.	Orléans	Polonceau	1855	14	122,200	0,3602	4,326	83,267	0,681
Id.	Bourbonnais	Oullins	1858	15	132,914	0,4135	3,958	104,473	0,786
Service des gares	Orléans	Polonceau	1855	16	67,049	0,2316	3,384	67,825	1,011
Engerth	Midi	Hesler	1855	17	151,880	0,4622	4,084	113,429	0,747
Id.	Nord	Creusot	1856	18	196,396	0,5183	3,955	131,165	0,668
Engerth-Mixte	Nord	Nord	1856	19	125,500	0,3103	5,463	59,508	0,474
Machine pour fortes rampes	Nord	Gouin	1858	20	123,680	0,3474	3,945	103,845	0,803
Machine projetée	Alpes				370,000	1,5842	3,140	504,000	1,362

MOYENNES

	m2.	m3.	m.	m3.	m3.
Du n° 1 à 7 voyageurs.	77,478	0,2584	5,723	50,592	0,585
Du n° 9 à 11, mixtes.	89,043	0,2805	5,172	54,302	0,610
Du n° 12 à 15, marchandises.	110,652	0,3617	4,453	81,860	0,751
N° 18, Engerth	196,396	0,5183	3,952	131,165	0,668
Machine projetée pour les Alpes.	370,000	1,5842	3,140	504,000	1,362

SURFACE de GRILLE		CAPACITÉ de la chambre de combustion		DURÉE OU ÉTENDUE DU CONTACT DES GAZ EN DEHORS DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION	VOLUME D'EAU DANS LA CHAUDIÈRE		VOLUME DE VAPEUR DANS LA CHAUDIÈRE		SECTION DES TUBES	
TOTALE	PAR MÈTRE CARRÉ DE SURFACE DE CHAUFFE	TOTALE	PAR MÈTRE CARRÉ DE SURFACE DE CHAUFFE		AVEC 0m,10 D'EAU AU-DESSUS DU FOYER	PAR MÈTRE CARRÉ DE SURFACE DE CHAUFFE	AVEC 0m,10 D'EAU AU-DESSUS DU FOYER	PAR MÈTRE CARRÉ DE SURFACE DE CHAUFFE	PAR MÈTRE CUBE DE CAPACITÉ DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION	PAR MÈTRE CARRÉ DE SURFACE DE GRILLE
m2.	m2.	m3.	m3.	m.	m3.	m3.	m3.	m3.	m2.	m2.
1,016	0,0187	1,2217	0,02186	2,550	1,615	0,029	1,195	0,021	0,1584	0,185
1,084	0,0167	1,2867	0,01989	2,867	1,671	0,026	1,150	0,018	0,1789	0,212
0,845	0,0113	1,1398	0,01527	3,772	1,942	0,026	0,890	0,012	0,1744	0,235
0,945	0,0115	1,2757	0,01552	3,488	2,300	0,029	0,928	0,011	0,1890	0,255
1,205	0,0133	1,7318	0,01919	3,550	2,710	0,030	1,315	0,015	0,1465	0,210
1,100	0,0139	1,4190	0,01797	3,867	2,012	0,025	1,043	0,013	0,1454	0,187
1,349	0,0140	2,0177	0,02136	3,442	2,780	0,029	1,164	0,012	0,1398	0,202
1,425	0,0141	1,8814	0,01871	3,615	3,600	0,035	0,850	0,008	0,1564	0,200
1,319	0,0140	2,0404	0,02128	3,462	2,780	0,029	1,164	0,011	0,1402	0,212
0,920	0,0107	1,1776	0,02069	3,920	2,536	0,029	1,326	0,015	0,1957	0,251
1,253	0,0146	1,8457	0,02206	3,226	2,000	0,025	1,540	0,018	0,1366	0,205
0,883	0,0128	1,1455	0,01665	3,945	1,905	0,027	1,760	0,026	0,1304	0,160
1,093	0,0109	1,6953	0,01696	4,017	2,750	0,027	1,620	0,046	0,1314	0,203
1,438	0,0111	2,3296	0,01800	4,250	3,933	0,030	1,552	0,012	0,1345	0,217
1,210	0,0099	1,8392	0,01505	4,178	3,650	0,029	1,530	0,012	0,1765	0,268
1,363	0,0102	2,0507	0,01542	4,250	3,841	0,021	1,518	0,011	0,1616	0,243
0,846	0,0126	1,0321	0,01539	3,865	2,290	0,034	0,815	0,012	0,2110	0,257
1,797	0,0118	2,8244	0,01859	4,750	4,270	0,028	1,683	0,011	0,1870	0,215
1,944	0,0198	3,3100	0,01685	5,000	4,855	0,024	2,055	0,010	0,1485	0,252
1,340	0,0106	1,9322	0,01539	4,500	3,080	0,024	1,490	0,012	0,1548	0,223
0,167	0,0142	1,9852	0,01615	3,500	2,535	0,020	1,645	0,013	0,1565	0,176
2,970	0,0084	9,5600	0,02567	5,000	7,854	0,021	3,180	0,008	0,0825	0,265

MOYENNES

m2.	m2.	m3.	m3.	m.	m3	m3.	m3.	m3.	m2.	m 2·
1,082	0,0142	1,446	0,0187	3,294	2,147	0,0278	1,098	0,014	0,1618	0,2140
1,174	0,0131	1,701	0,0213	3,536	2,439	0,0237	1,343	0,015	0,1575	0,2229
1,197	0,0110	1,812	0,0164	4,128	3,216	0,0270	1,596	0,014	0,1469	0,2003
1,944	0,0098	3,810	0,0168	5,000	4,855	0,0240	2,055	0,010	0,1485	0,2528
2,970	0,0084	9,560	0,0251	5,000	7,844	0,0212	3,180	0,008	0,0825	0,2658

Nous ne pouvons maintenant mieux faire que d'emprunter à l'auteur le texte même des observations qu'il tire de ce tableau.

« Les conséquences des chiffres que ce tableau présente sont, les unes absolues, les autres simplement indicatives de faits d'expérience, dont la règle est encore incertaine. »

Parmi les résultats absolus et incontestables nous placerons les faits suivants :

« 1° L'art cherche à obtenir la plus grande puissance mécanique de la moindre quantité de combustible, d'eau et de métal;

« 2° Il y a accroissement continu dans les dimensions des machines;

« 3° La surface de chauffe s'accroît également;

« 4° L'espace offert dans les cylindres à la vapeur, pour l'utilisation de sa puissance de dilatation s'accroît aussi;

« 5° Il en est de même, mais dans des rapports variables, de la surface de la grille, de la capacité de la chambre de combustion, de l'étendue du contact des gaz produits par la combustion avec les surfaces métalliques du générateur, du volume d'eau dans la chaudière et du volume du réservoir de vapeur.

« A côté de ces faits, dont l'exactitude est absolue, si on cherche ceux qui établissent les rapports entre les divers éléments de la puissance mécanique, on en trouve d'incontestables et d'incertains.

« 1° Le rapport du volume de cylindrées à la surface de chauffe constate une plus grande utilisation relative de la puissance de dilatation de la vapeur dans les machines destinées à remorquer des trains lourds à de faibles vitesses, que dans les machines destinées aux trains légers et rapides. On doit s'applaudir de ce résultat qui est conforme aux plus saines théories d'emploi de la vapeur.

« 2° La surface de grille ne croît pas en raison directe de la surface de chauffe, et cela s'explique par cette raison que la

vitesse d'introduction, dans le foyer, de l'air servant à la combustion dépend, à la fois, de la section des passages que laisse le combustible, et de la différence de pression entre le foyer et l'air extérieur; d'où il résulte que, pour une section moindre, il faut un tirage plus énergique qui peut être obtenu par des échappements plus fréquents émettant une plus grande quantité de vapeur. Cela s'explique encore parce que la substitution de la houille au coke conduit moins à une augmentation de la surface de grille qu'à l'augmentation de la chambre de combustion, à cause du dégagement considérable de gaz que produit la houille dans les premières périodes de la combustion.

« Il s'agit ici de la houille sèche et en fragments, qui s'allume plus vite et plus facilement que le coke, tout en laissant des passages d'air aussi faciles à travers sa masse. Il en serait tout autrement du menu, qui exige, au contraire, de très-larges surfaces de grille, et ne peut, en conséquence, être brûlé convenablement dans les foyers actuels des machines locomotives qu'à l'état d'agglomérés.

« 3° Le rapport du volume d'eau dans la chaudière à la surface de chauffe varie avec les dispositions générales du générateur;

« 4° Le rapport de la capacité de la chambre de combustion des gaz avec les surfaces de grille et de chauffe et avec la section des tubes n'a pas varié malgré la substitution de la houille au coke, ce qui semble contraire aux règles théoriques de la combustion.

« 5° Le rapport du volume de vapeur dans la chaudière à la surface de chauffe se modifie à mesure que la puissance des machines croît dans le sens de la diminution progressive du réservoir de vapeur, et à mesure que les facultés de production de vapeur de la chaudière augmentent,

« 6° La durée ou l'étendue du contact des gaz produits par la combustion tend à s'accroître, mais elle dépend de la disposition

générale de la machine, en ce qui concerne la situation des essieux sur lesquels son poids est distribué;

« 7° Le rapport de la section des tubes à la surface de la grille est resté sensiblement constant.

« 8° Le poids du générateur, abstraction faite du mécanisme de transmission de force, est sensiblement proportionnel à l'accroissement de la surface de chauffe.

« Ces préliminaires posés, nous en déduirons l'application aux dispositions à prendre pour accroître la puissance des machines.

« La production de vapeur ne s'obtient, dans une machine locomotive, qu'au moyen de combinaisons propres à favoriser : 1° La combustion, qui produit la chaleur ; 2° la transmission de la chaleur produite par la combustion, à travers les parois métalliques du générateur.

« La combustion n'est parfaite qu'autant que le carbone et les gaz produits par le combustible ont été complétement convertis, dans le foyer et les espaces situés entre le foyer et la cheminée, en gaz incombustibles.

« Considérons les trois parties dont l'appareil se compose : la grille, la chambre de combustion et les conduits par lesquels les gaz se dirigent en se refroidissant vers la cheminée.

« La surface de la grille dépend de la nature du combustible, c'est-à-dire de sa propriété de laisser passer entre ses fragments l'air qui doit servir à la combustion, et de l'énergie du tirage.

« Les dimensions de la chambre de combustion dépendent des quantités de gaz combustibles que fournissent la houille, le coke ou le bois, et des quantités d'air que nécessite la combustion de ces gaz.

« Enfin, la section des conduits des gaz produits par la combustion dépend du tirage, c'est-à-dire de la vitesse d'écoulement imprimée à ces gaz par la différence de pression entre le foyer et l'air extérieur.

« Chacune de ces dispositions a été étudiée, depuis bien des années, à son point de vue spécial et dans ses rapports avec l'ensemble. La limite de la puissance des machines, au point de vue de la vaporisation, a été déterminée par une relation générale, dont un des termes est la combinaison des divers éléments qui constituent le générateur, et l'autre la disposition des supports de ce générateur sur la voie.

« Le second terme, celui de la disposition des supports du générateur sur la voie étant le moins compliqué des deux, nous l'examinerons d'abord.

« La réaction, sur la voie, des roues, de leurs essieux et des châssis qu'elles supportent, a pour origine : 1° le poids porté par chaque roue ; 2° la distance rigide des points de contact de ces roues sur les rails, déterminée par l'écartement extrême des essieux.

« La pression exercée sur la voie par les roues de chaque essieu se compose du poids de ces roues et de leur essieu, et de la charge qui leur est transmise par le châssis. Cette charge dépend du poids total de la machine et de la distance mesurée en projection horizontale de chacun des points de contact des roues sur les rails ou, ce qui revient au même, de la distance de l'axe de chacun des essieux au centre de gravité.

« Le poids ne dépasse pas impunément 6 tonnes par roue, c'est-à-dire que, sous l'influence d'un poids plus considérable, les bandages et les rails sont rapidement altérés. C'est donc là, quant à présent, une limite à la charge que doivent porter les roues.

« Quant à la rigidité des points de contact, elle n'affecte la voie qu'à raison du rayon des courbes, et de la distance ou de l'écartement entre les essieux extrêmes.

« Jusqu'à l'invention d'Engerth, l'habitude était, soit de tout rassembler sur un seul châssis, générateur, mécanisme et ap-

provisionnement d'eau et de combustible; soit de partager l'ensemble de la machine entre deux châssis, le générateur avec son mécanisme, d'une part, et l'approvisionnement d'eau et de combustible, de l'autre.

« Engerth assembla les deux châssis, en les articulant pour faire supporter aux roues du tender une partie du générateur et pour augmenter au besoin l'adhérence, en communiquant la puissance motrice à un essieu du tender. C'est cette combinaison qui a réussi, en ce qui concerne la réunion des deux châssis, c'est à elle qu'on doit les machines les plus puissantes qui aient été construites jusqu'à ce jour. Le type qui présente les plus grandes dimensions est celui du Nord. L'écartement extrême des essieux, qui portent sur un cadre rigide la plus grande partie du générateur et le mécanisme, est de 5m,95. La charge de chacun des essieux est de 9,2 tonnes à 11,1 tonnes.

« La longueur du générateur est :

« Boîte à fumée.	0,80	7m,32
« Corps cylindrique.	4,88	
« Corps carré, contenant le foyer. . . .	1,64	

« Un générateur d'une pareille longueur ne pouvait être également supporté par les quatre essieux. Eût-il pu l'être, le poids de 12 tonnes par essieu aurait été dépassé. Aussi, l'essieu d'avant du tender a-t-il reçu une partie du poids du générateur. On peut donc considérer que la limite de cette combinaison était une surface de chauffe de 196m², chargeant quatre essieux du poids de 40 tonnes, et un cinquième essieu d'un poids supplémentaire.

« Or, la basse rigide de cette machine, c'est-à-dire l'écartement entre les essieux extrêmes, 5m,95, ne lui permet pas de passer dans des courbes de 200 à 250 mètres.

« Tel est, pour la machine la plus puissante, l'un des termes de la relation avec la voie.

« Il convient, peut-être, d'examiner ici ce qui s'est fait dans cette direction, d'après les anciennes dispositions consistant :

« 1° Dans l'emploi de deux véhicules, machine d'un côté, tender de l'autre;

« 2° Dans l'emploi d'un seul véhicule comprenant la machine et le tender.

« Dans la première de ces deux dispositions, la machine présentant la plus grande surface de chauffe est celle du Bourbonnais. Elle a 133 mètres carrés, elle pèse 52,278 kilog.; elle est portée par trois essieux moteurs, dont l'écartement extrême est de 3m,37; son tender détaché élève ce poids à 50,528 kilog. (C'est le n° 15 du *Guide du Constructeur.*)

« La machine la plus puissante, dans la disposition qui consiste à tout placer sur un seul véhicule, est la machine construite, pour le chemin de fer du Nord, dite « *Machine pour fortes rampes,* » qui a une surface de chauffe de 123m²,68. (N° 20 *du Guide du Constructeur.*) Elle est portée sur quatre essieux dont l'écartement extrême est de 3m,33; elle pèse, avec son approvisionnement d'eau et de coke, 57,500 kilog. L'effort continu de traction dont cette machine est susceptible est de 4,346 kilog., inférieur de 1,237 kilog., c'est-à-dire de plus du cinquième, à son adhérence disponible comptée au sixième de son poids moyen, soit 5,583 kilog.

« Cette machine et la précédente ne pourraient circuler convenablement dans des courbes de moins de 150 mètres de rayon.

« Ainsi, dans sa relation avec la voie, le dernier mot de la machine locomotive est un effort maximum de 5,859 kil., avec des courbes d'un rayon minimum de 200 à 250m, et un effort de 4,356 kil., avec des courbes de 150 mètres de rayon.

« Examinons maintenant l'autre terme de la puissance des machines, celui qui est donné par la combinaison des divers éléments qui constituent le générateur et le mécanisme.

« La machine Engerth et la machine à fortes rampes ont des roues de faibles diamètres et des cylindres de grande dimension ; elles fournissent, en conséquence, à la vapeur un grand espace pour son utilisation, et produisent, par la fréquence de leurs échappements, un tirage actif dans le foyer.

« La machine à fortes rampes offre en outre, une disposition particulière pour la combustion de la houille, c'est la grande surface relative de sa grille.

« Malgré les perfectionnements réalisés dans ces deux machines, l'expérience a établi qu'elles ne peuvent transmettre un effort continu égal à leur adhérence disponible. D'où on peut conclure, sans hésitation, que ni l'un ni l'autre des deux systèmes connus n'est susceptible de produire une puissance mécanique plus grande, et qu'en conséquence ils sont tous deux insuffisants pour l'exploitation des rampes inclinées à 50 m/m et au-dessus ayant une grande étendue ; que, de plus, ni l'un ni l'autre de ces deux systèmes ne peut se prêter, à cause de la longueur de sa base, à la circulation dans des courbes de 25^{m} de rayon.

« S'il est facile de comprendre, par ce qui précède, pourquoi il y a une limite de production de puissance mécanique imposée à ces deux systèmes de construction, par le poids et le volume du générateur et de ses accessoires, il ne l'est pas, au même degré, de déterminer les dispositions par lesquelles il est possible de dépasser cette limite. »

Il ressort encore du tableau ci-dessus, que les limites de la vaporisation et de l'adhérence dans les locomotives sont résumées aujourd'hui dans la machine Engerth, construite par l'usine du Creusot pour le chemin de fer du Nord, elle a 196$^{m^2}$ de surface de chauffe, et son adhérence, comptée au sixième du poids porté sur les roues (soit 40,296 kil.) est de 6,716 kil. Elle traîne, sur une rampe de 5 m/m ayant 24 kilomètres de longueur 633 tonnes, machine comprise, et réalise ainsi, à 9^{k},25^{c}., par tonne un effort

de 5,859 kil. L'adhérence est donc supérieure de $\frac{1}{7}$ environ à l'effort de traction.

Quant à la vaporisation, elle est de 5,454 kil. d'eau avec 587 kil. de houille par heure.

M. Flachat cite également, comme une des machines les plus puissantes, la machine à fortes rampes du chemin du Nord, due à M. Pétiet.

L'étude des dispositions de ces deux machines est le point de départ de M. Flachat pour l'étude de la nouvelle machine qu'il projette.

Nous citerons encore textuellement les observations de M. Flachat sur cette intéressante question de la construction des machines.

Il résulte de cette discussion que, pour les deux types de machines les plus puissantes construites jusqu'à ce jour, la production de vapeur est encore insuffisante pour répondre au maximum d'adhérence.

Un point très-important que M. Flachat fait ensuite ressortir, et sur lequel il insiste avec beaucoup de raison, c'est que, dans les locomotives, la substitution de la houille au coke doit exiger une chambre de combustion beaucoup plus grande que celle qu'exige ce dernier combustible, dans le rapport de 84 à 56; c'est ce qui le conduira à proposer une boîte à feu à corps cylindrique, pénétrant dans l'intérieur de la chaudière.

En résumé, la limite de la puissance des machines locomotives correspond aujourd'hui à un effort de traction de 6,000 kilog. obtenu avec une surface de chauffe de 196^{m2}. C'est la machine Engerth du Nord qui, même avec une articulation dans le châssis, ne peut marcher dans des courbes de moins de 150 mètres de rayon.

L'autre machine qui peut circuler dans des courbes de moins

de 150 mètres de rayon, et dont tout l'appareil est porté sur quatre essieux, est la machine à fortes rampes du Nord, dont l'effort de traction n'est que de 4,250 kil. et la surface de chauffe de 123^{m2}.

Si on applique ces machines à la traction sur rampes de 50 et 60 m/m, leur travail effectif se réduit à remorquer, à la vitesse de 16 kilomètres, une charge brute de 28^t et 17^t pour la machine Engerth, et une charge brute de 24^t et 17^t pour la machine à fortes rampes. Ces résultats sont donc complétement insuffisants pour la traversée des Alpes.

M. Flachat a, dès lors, cherché dans le principe des trucks à pivot du matériel américain la solution qu'il poursuivait. Avec ce système, en effet, il peut avoir un générateur porté sur deux trucks, dont la surface de chauffe peut sans difficulté atteindre 380 mètres carrés, développer un effort de traction allant à 12,500 kilog. et passer dans des courbes de 20 à 25 mètres de rayon; le poids de cette locomotive portée sur deux trucks, à trois essieux chacun, n'excédera pas 64^t; ça n'est pas tout à fait 11^t par essieu.

Tel est le point de départ de la construction de la nouvelle machine que M. Flachat propose; ses dispositions sont simples, il les compare à celles de la machine Engerth.

« Le générateur nouveau n'offre, quant à son agencement général, d'autre différence avec celui de l'Engerth qu'une addition d'espace à la chambre de combustion. L'exiguité de l'espace destiné à la combustion des gaz dans les foyers des machines locomotives est un des grands défauts de ces machines, depuis que l'emploi de la houille s'est généralisé, et qu'il est démontré qu'il faut le généraliser encore plus qu'on ne le fait jusqu'ici.

« Cette opinion est partagée par tous les ingénieurs; mais la forme générale de la construction ne permettait de modifier les foyers qu'en diminuant la longueur des tubes, c'est-à-dire la durée du contact des gaz produits par la combustion avec les sur-

faces métalliques servant à la transmission de la chaleur à l'eau contenue dans la chaudière.

« La chambre de combustion, qui, dans l'Engerth, a $3^{m3},310$, sera dans la machine nouvelle de $9^{m3},560$; le rapport donne, par mètre carré de surface de chauffe en décimètres cubes, 16,85 pour la première et 25 pour la seconde machine; c'est un tiers de plus.

« La surface de grille sera de $2^{m2},97$; celle de l'Engerth est de $1/^{m2},94$. Nous avons dit que la surface de grille ne s'accroît pas dans les machines en raison directe de leur surface de chauffe.

« Les moyennes donnent, à cet égard, les résultats suivants :

MACHINES	MÈTRES CARRÉS de surface de chauffe	Surface de grille par mètre carré de surface de chauffe
	m2	Décimètres carrés
Machines à voyageurs.	77,47	1,42
Id. mixtes.	89,04	1,31
Id. à marchandises.	105,69	1,10
Id. Engerth (Nord).	196,39	0,98
Id. nouvelle.	370, »	0,84

« La décroissance proportionnelle de la surface de grille est beaucoup moindre dans la nouvelle machine que dans les autres; on peut donc la considérer comme étant, sous ce rapport, dans de meilleures conditions.

« Les tubes ont la même longueur que ceux de l'Engerth, parce que, si l'expérience ne contredit pas le mérite de cette disposition, elle n'indique pas qu'une plus grande longueur soit indispensable.

« Il paraît, en effet, bien établi que les flammes produites par la combustion des gaz s'éteignent après quelques décimètres de

parcours dans les tubes, et que celles qui sortent quelquefois par la cheminée proviennent de ce que ces gaz se rallument dans la boîte à fumée, par suite de leur combustion incomplète dans le foyer, et de la présence de fragments de combustibles incandescents dans la boîte à fumée; mais l'expérience n'a pas démontré que la température des gaz fût, à la sortie des tubes, trop basse pour être utile à la production de la vapeur.

« Si la circulation de l'eau dans les générateurs est, comme tout porte à le croire, une conséquence forcée de la production de la vapeur, et de l'inégalité de la température transmise par les parois métalliques exposées, soit au calorique rayonnant, soit au contact des gaz chauds, tout ce qui est recueilli de la température produite par la combustion devient utile. Il suffit pour cela que la transmission de la chaleur s'accomplisse dans des conditions qui aident à cette circulation. Or, aucune disposition n'est plus favorable à la circulation régulière de l'eau que celle du générateur des locomotives, parce que la transmission de la chaleur s'accroît progressivement, depuis l'extrémité des tubes, où elle est la moins active, jusqu'à l'entourage du foyer, où elle a la plus grande activité et où se produit la plus grande quantité de vapeur. N'est-il pas évident que tout prolongement de dimension d'un générateur qui aurait pour conséquence d'accroître la température de l'eau, en enlevant aux gaz produits par la combustion toute la chaleur qu'ils contiennent, serait favorable à la production de vapeur et à l'économie du combustible?

« En considérant, d'ailleurs, l'énorme vitesse dont les gaz sont animés, la durée du contact dans 5 mètres de longueur est toujours trop faible pour qu'il y ait lieu de la diminuer, puisque l'expérience établit que cette longueur se prête à de grandes variations dans le tirage, et que, tout en assurant le refroidissement des gaz, c'est-à-dire l'absorption utile de la chaleur qu'ils contiennent, elle n'est pas un obstacle à leur vitesse d'écoulement.

« Reste la section des tubes considérée comme passage des gaz brûlés. L'Engerth a 235 tubes, tandis que la nouvelle machine en a 402; c'est près du double et c'est beaucoup : car, il y a de bonnes raisons pour qu'il en soit des orifices d'écoulement des gaz comme de la surface de chauffe; tout au plus la section des tubes serait-elle dans le rapport de la consommation en combustible; mais, en serait-il de même avec la complète combustion qu'amènera, sans nul doute, l'augmentation de la chambre de combustion? Bien que nous nous soyons tenus dans les règles habituelles quant à la proportion de la section des tubes à la surface de grille, nous nous demandons s'il y a vraiment un rapport à établir entre ces deux dimensions élémentaires d'un générateur de locomotive.

« Le combustible, élevé à une certaine température, dégage des gaz dont une partie est combustible; la combustion n'en produit que d'incombustibles. Si elle n'est pas complète, les gaz sortent du foyer, en partie combustibles, en partie incombustibles. Ce n'est pas l'élévation de la température qui a manqué aux premiers, puisqu'ils se rallument à la base de la cheminée au contact d'un corps incandescent, comme le gaz hydrogène carboné servant à l'éclairage, c'est l'oxygène de l'air qui leur a manqué.

« Si l'existence de la flamme ne prouvait pas que la combustion s'effectue principalement au-dessus du combustible, le fait que nous signalons l'établirait. Du reste, personne ne conteste que la production de l'hydrogène carboné par la houille ne soit, dans un foyer, le prélude de la combustion, et que celle-ci ne s'accomplisse, dans ce cas, au-dessus du combustible.

« On est moins affirmatif quant à la région où s'accomplit la combustion du coke et la production de l'acide carbonique; la présence de l'oxyde de carbone au-dessus du combustible est cependant parfaitement établie, puisqu'il est facile d'en recueillir dans tous les foyers à l'extrémité de la cheminée, en épaississant

la couche de combustible sur la grille ; elle est encore démontrée par l'existence de la flamme qui s'élève au-dessus du coke. Cette flamme, d'une coloration et d'une ténuité très-différentes de celles de la houille, est parfaitement perceptible dans les grands foyers à coke, par des yeux exercés, même quand ce combustible est très-pur.

« Une autre preuve se trouverait encore dans les transformations successives en oxyde de carbone et acide carbonique dont ces gaz sont susceptibles, et qui ont été constatées par Ebelmen dans les hauts-fourneaux.

« Si, donc, il est démontré, par des preuves surabondantes, que c'est au-dessus du foyer, c'est-à-dire dans la chambre de combustion, que s'accomplissent principalement les actions chimiques et physiques qui doivent avoir pour but la production des gaz incombustibles, le volume de cette chambre devient l'une des conditions les plus nécessaires à déterminer.

« L'analyse saisit alors la possibilité de calculer le volume des gaz qui doivent entrer, se modifier et sortir de cet espace, abstraction faite, il est vrai, de leur raréfaction, qui dépend de la température du milieu, et qui ne permet pas de le préciser parce que la température exacte n'est pas bien connue ; mais elle démontre la relation naturelle de la capacité de la chambre de combustion, qui est l'atelier où doivent se former les gaz incombustibles, avec la section des tubes par lesquels les gaz s'échappent.

« Cette opinion semble, du reste, partagée par les ingénieurs américains, d'après les dimensions relatives qu'ils ont données à la chambre de combustion et à la section des tubes, dans les machines de récente construction, où ils ont eu en vue l'usage exclusif de la houille.

« Le volume d'eau dans le générateur nouveau est, par mètre carré de surface de chauffe, dans le même rapport que dans les autres constructions.

« Quant au volume du réservoir de vapeur, il est dans le rapport de décroissance de la moyenne indiquée au tableau ; c'est suffisant, mais ce n'en est pas mieux, car il y a des inconvénients d'insuffisance d'espace, tandis qu'il n'en est aucun dans un excès à cet égard.

« La puissance mécanique produite par la vapeur dans le générateur nouveau sera employée d'une manière beaucoup plus avantageuse que dans l'Engerth, à cause de l'espace offert dans les cylindres à cette vapeur par mètre carré de surface de chauffe. La différence sera du simple au double : à savoir, dans l'Engerth, 668 litres par mètre carré de surface de chauffe, et dans l'autre, 1,362 litres. C'est que, dans ce dernier cas, les cylindres qui servent à l'emploi de la vapeur sont beaucoup plus nombreux que dans le premier.

« Dans le système ordinaire, il y a deux cylindres par machine, tandis que dans le nouveau il y aura quatre cylindres par véhicule. Ils seront beaucoup moins grands, mais le volume qu'ils offriront à la vapeur dépassera le double de ce qu'il est dans l'Engerth.

« L'augmentation des dimensions du générateur, qui est facilitée par la distance des points de support, doit donner à ses facultés de production de vapeur des avantages considérables.

« Le corps carré qui contient le foyer pouvant être augmenté en largeur, le foyer aurait une forme évasée par le bas, afin que le dégagement de la vapeur sur la paroi du foyer devienne plus facile, et que le renouvellement de l'eau sur la surface soit plus régulier.

« On sait combien ces deux conditions sont importantes, à cause de la supériorité que l'eau a sur la vapeur pour conduire la chaleur et l'enlever aux parois du métal. Le contact de la vapeur n'empêche pas d'amener au rouge des surfaces que le contact continu avec l'eau entretient toujours à une température qui pré-

serve le métal de toute altération. Que de foyers de locomotives portent la trace d'une température allant jusqu'aux ramollissements du métal, parce que la vapeur ne se dégage que difficilement dans l'étroit espace situé entre le foyer et l'enveloppe, et de la difficulté, augmentée par les incrustations, qu'y éprouve la circulation de l'eau.

« Le passage de l'eau à la partie inférieure du foyer vers l'origine des tubes sera également facilité, puisque non-seulement il n'y aura pas, en cet endroit, l'étranglement habituel, mais que l'espace y sera au gré du constructeur. La circulation de l'eau, qui se dirige toujours vers les points où la température est la plus élevée et où la production de vapeur est la plus abondante, s'accomplira en partant de l'extrémité des tubes ; elle suivra la partie inférieure du corps cylindrique pour remonter le long des parois du foyer, de telle sorte que ce phénomène important, sans lequel la puissance de vaporisation d'une surface métallique est incomplète, atteindra ses effets normaux.

De l'ensemble des dispositions décrites ci-dessus, nous attendons les résultats suivants : A la vitesse de 16 kilomètres à l'heure, le nouveau générateur convertira en vapeur 28 kilog. au moins d'eau par mètre carré de surface de chauffe, soit en totalité 10,360 kilogrammes ; l'effort de traction qu'il pourra maintenir sera de 12,500 kilog. ; et le poids qui pourra être remorqué par cette force mécanique sera, sur une rampe de 50 m/m, de $\frac{12{,}500^{k}}{58} = 216$ tonnes. Le générateur pesant 62 tonnes, il en restera 144 pour le train, qui portera ainsi 100 tonnes de poids net. Le poids qui paie sera au poids total comme 46 est à 100. Cela se réduira, sur une rampe de 60 m/m, à 184 tonnes de poids total, à 122 de poids de train, et à 80 de poids utile. Ce poids sera encore au poids total comme 44,5 est à 100.

« Des générateurs de poids plus faible ou plus considérable

pourront desservir un trafic plus faible ou plus étendu, suivant les besoins de la circulation ; car le matériel porté sur châssis mobiles se prête, sous ce rapport, à de meilleures conditions que le matériel dont les essieux et le mécanisme sont assemblés d'une manière rigide au châssis qui porte le générateur. »

Nous n'avons rien voulu retrancher de cette exposition qui résume les observations les plus complètes sur le phénomène de la combustion, sur l'utilisation de la chaleur, sur la production et l'emploi de la vapeur dans les locomotives.

Enfin, ce qui distinguera essentiellement le moteur dans ce système de ce qu'il est sur les autres chemins de fer, c'est l'application à la machine et au premier ou deux premiers véhicules qui la suivent de 4 cylindres recevant la vapeur d'un générateur unique.

C'est ainsi qu'avec 380^{m2} de surface de chauffe M. Flachat obtient un effort de 12,500 kil. représentant un train de 100 tonnes de poids utile sur une rampe de 50 m/m, ou 80 tonnes utiles et sur une rampe de 60 m/m.

§ VI. *Quels obstacles la climatologie des cols des Alpes apportera-t-elle à l'exploitation d'un chemin de fer tracé en rampes de 50 à 60 m/m?*

Cette question est une de celles qui préoccupent le plus le public. Le voyageur qui, de la plaine, passe dans la montagne, éprouve, presque sans transition, un changement tellement brusque, que son imagination en est vivement frappée. Cependant l'étude attentive faite, depuis de Saussure, de la météorologie des Alpes, permet aujourd'hui d'apprécier à leur juste valeur les obstacles et les moyens de les surmonter.

M. Flachat présente dans une série de tableaux les résultats d'observations faites pendant de nombreuses années, sur le Grimsel, sur le Saint-Bernard et au Simplon. On peut ainsi apprécier les obstacles sous les trois formes qu'ils affectent, neige accumulée, avalanches, tourmentes.

L'accumulation de la neige sur le chemin résulte d'abord de la quantité tombée. Cette quantité en 12 années, au Saint-Bernard, a varié par an de 3,527 m/m à 13,482 m/m. La hauteur maxima tombée dans un jour a été de 620 m/m. Ce maximum n'a été atteint que 2 fois en 12 ans. On trouve ensuite 4 jours de 510 à 610 m/m; 6 jours de 400 à 500 m/m; 24 jours de 300 à 400 m/m; 59 jours de 200 à 300 m/m.

En 13 ans le nombre de jours de neige a été de 1,030, soit en moyenne 79 par an. Sur ce nombre il en est les quatre dixièmes pendant lesquels l'épaisseur tombée par jour n'excède pas 50 m/m et près des neuf dixièmes dans lesquels elle n'excède pas 200 m/m.

Pendant 7 mois, la neige tombée ne fond pas, il faut l'enlever. Que sera ce travail? Les documents produits permettent de l'établir : le mètre cube de neige pèse 85 kil. Pour élever à $2^{m},50$ et déverser hors la voie une couche de 40 centimètres de neige, il faudra employer à la machine 3 à 4 chevaux vapeur. Pour le maximum de neige de 60 centimètres, ce serait 4 à 6 chevaux.

M. Flachat propose l'emploi permanent en hiver de charrues déversoirs, dont la circulation journalière empêchera toute accumulation de neige tombée.

Sur certaines parties les accumulations de neige peuvent prendre une importance beaucoup plus grande, lorsqu'elles se forment de neige entraînée. Dans les grands froids, la neige tombante acquiert une finesse et une légèreté qui en fait une fine poussière. A cet état, le vent, même sans violence, l'entraîne et la dépose partout où un vide ou un obstacle détermine un remous d'air, une diminution de vitesse. On devra en tenir compte dans le tracé, et peut-être faudra-t-il employer quelque moyen de déblaiement encore plus efficace que la charrue. D'ailleurs, dans les plus hautes régions, le chemin sera couvert et par conséquent garanti.

M. Flachat donne le détail du service d'enlèvement des neiges sur la route du Simplon. Ce service coûte de 8 à 11 mille francs

par an. On n'enlève pas toute la neige, il est vrai, mais aussi on n'emploie que la force animale, et d'une manière intermittente. Les interruptions de la circulation dans une période de 15 années donnent une moyenne de 7 jours par an.

L'obstacle de la neige tombée n'a donc rien de si redoutable et ne justifie pas l'idée très-exagérée qu'on s'en fait généralement. Il est certainement moindre dans les Alpes, que dans les pays du Nord, où nos capitalistes vont sans crainte construire des lignes de plusieurs centaines de kilomètres. A température égale, nous dirons même que l'avantage est à la montagne, où le tracé développé sur le penchant du versant présente toujours à côté de lui un vide prêt à recevoir la neige déblayée.

Les avalanches forment une autre nature d'obstacle à la circulation. Ce n'est pas seulement un obstacle, mais aussi un danger. L'avalanche est un torrent de neige qui se précipite avec une rapidité excessive et emporte tout obstacle dont la masse n'est pas suffisante pour le contenir, ou dont la disposition n'est pas de nature à le faire dévier de sa direction.

Comme les torrents d'eau, les avalanches ont leur thalweg qu'elles suivent invariablement. Leur cours est donc connu; mais le moment de leur chute est indéterminé. On sait que telle variation météorologique amènera l'imminence de l'avalanche; mais son moment d'équilibre est tellement variable, qu'un rien suffit à arrêter ou déterminer la chute. Au moment où elle a lieu, le fracas qu'elle produit, la vibration qu'elle propage à l'air et au sol étendent l'ébranlement; de grandes masses se mettent en mouvement sur les versants convergents au thalweg de l'avalanche, et celle-ci en descendant vers le fond de la vallée s'accroît en masse et en vitesse. Tout obstacle s'opposant carrément à l'avalanche est emporté, s'il n'est d'une grande masse et fortement enraciné dans le sol; mais cependant l'avalanche suit les ondulations du terrain, d'où résulte une conséquence importante, c'est

que toute construction continuant, sans l'interrompre, le chemin de l'avalanche ne sera pas affectée par elle. Sous une telle construction, qu'elle soit en pierre ou en simple charpente, la viabilité sera assurée.

Une avalanche peut être très-exactement comparée, quant à sa marche et à ses effets, à un lourd convoi de chemin de fer lancé à grande vitesse sur les rails. La pression sur le sol et sur les ponts, viaducs, ou estacades, n'est égale qu'au poids (faiblement affecté par la vitesse) de chaque véhicule qui passe successivement. Mais, si un obstacle est placé sur la voie, il est immédiatement renversé par la puissance vive accumulée de tout le convoi. De même pour l'avalanche. Le jeu d'une aiguille, l'inflexion courbe des rails change sans choc la direction du train; de même une faible estacade en charpente, continuant sur une route l'inflexion du sol, dévie la course de l'avalanche.

Au Simplon la route est couverte, aux passages des grandes avalanches, par des galeries en pierre d'une construction légère.

Après les avalanches, les tourmentes sont le dernier obstacle, le dernier danger spécial opposé à la circulation dans la montagne. « Les tourmentes sont aussi redoutables, pour tout ce qui « est susceptible de céder à leur violence, qu'elles sont inoffen- « sives pour les ouvrages que l'homme a faits dans l'intention de « s'en préserver. » On n'a pas de données bien certaines sur l'intensité maxima du vent dans la tourmente; mais si l'on considère que dans les parties de la montagne, ordinairement parcourues par cet ouragan passager, la grande végétation, les arbres élevés persistent tant que la température le permet, on est porté à conclure que la violence du vent n'y atteint pas celle des grands ouragans auquels nul arbre ne peut résister. Dans la montagne on rencontre, il est vrai, des arbres de tout âge brisés par la tourmente, mais ces accidents paraissent le résultat de rafales subites, de trombes ou tourbillons, dont l'action est très-circons-

crite, et ne se fait sentir qu'en raison de la très-grande surface que les arbres leur opposent. M. Flachat ne paraît pas croire qu'on ait à redouter des effets aussi violents que ceux qui ont été produits sur le chemin de fer du Midi dans la plaine de Narbonne, par un ouragan qui renversa une partie de deux trains en marche. Dans cet accident, on remarqua que les wagons chargés se maintinrent sur la voie; d'où l'on peut conclure que le matériel spécial appliqué au passage du Simplon sera, par sa pesanteur et sa stabilité, complétement en état de résister à l'action des tourmentes.

Les tourmentes ne seront pas un danger pour les trains, ceux-ci ne seront ni emportés ni renversés par le vent. Mais, soit à la remonte, soit à la descente, le train pendant la tourmente devra toujours être complétement à la main de ses conducteurs.

Les tourmentes ont lieu principalement au moment de la tombée de la neige; elles produisent sur certains points des accumulations subites de neige qui peuvent devenir assez considérables pour obstruer le passage. Il faut donc à chaque instant être prêt à aborder un obstacle de neige.

Ceci d'ailleurs ne se présente que rarement en définitive; car, en 15 années, la moyenne des jours d'interruption de la route du Simplon, tant par les avalanches que par les tourmentes, n'a été que de 7 jours par an. On a vu d'ailleurs que l'emploi de la force mécanique au déblaiement de la neige réduisait à des heures ces jours d'interruption.

En résumé, il résulte de tous les faits exposés dans le mémoire, que le froid et la neige accumulée ne seront pas un obstacle d'autre nature que sur les chemins russes dont l'exploitation n'a jamais été entravée par ces causes. Seulement le passage du Simplon aura 50 à 60 kilomètres dans ces conditions, le chemin de Moscou à Saint-Pétersbourg en a 650. Les avalanches sont des cours de neige connus comme les cours d'eau; on fera passer l'avalanche sur le chemin, comme celui-ci sur le cours d'eau, avec la même

sécurité pour la circulation. La tourmente n'est pas plus à craindre, quant à ses effets mécaniques sur les trains, que les ouragans des pays de plaine.

La complète possession des trains, assurée par un matériel spécial, annulera le danger qui pourrait résulter d'encombrement subit de neige.

Nous placerons ici les observations faites par M. Jacquemin, au Simplon, rapportées par M. Flachat.

« *Observations sur la nature de la neige.* — Pendant les mois de décembre, janvier et février, la neige tombe en paillettes, poussière fine et pénétrante.

« Celle qui tombe pendant les mois de novembre, mars et avril est humide et en gros flocons. Suivant la température, elle peut tomber en poussière sur la hauteur, et plus bas en gros flocons humides.

« *Jours de neige.* — En octobre, vers la fin du mois, pendant. . . . . 3 jours

« En novembre, les jours les plus neigeux sont les premiers jours, vers les 12, 13 et 14 et sur la fin du mois. On peut généralement admettre qu'il neige. . . . . 10 id.

« En décembre, il neige ordinairement vers le 6, le 20, et sur la fin du mois, soit pendant . . 11 id.

« En janvier, il neige ordinairement vers le 6, le 17, et sur la fin du mois, soit pendant . . . 9 id.

« En février, la neige tombe généralement. . 6 à 7 id.

« En mars, l'hiver est ordinairement calme, et, s'il neige, la circulation est rarement interrompue.

« En avril, la température est très variable; la pluie et la neige se succèdent souvent, sans cependant interrompre le passage du Simplon, sauf vers la fin du mois, époque à laquelle un retour de neige est assez fréquent, retour qui a presque toujours pour conséquence l'interruption du passage du Simplon, pendant 2 ou 3 jours.

« En mai, la neige tombe encore, au commencement, pendan 1 ou 2 jours.

« *Durée de la neige.* — Depuis le commencement de novembre jusque vers la fin de février.

« 1° Sur la partie comprise entre l'entrée de la forêt dite Riederwald (au-dessus de Brigue) et le pont du Gauther.

« 2° Entre Iselle et le village du Simplon.

« Sur la fin de mars, elle se retire jusqu'à la galerie de Caploch (sur le versant du Valais), et jusque près de l'ancien hospice (sur le versant de l'Italie).

« Pendant les 10 premiers jours de mai, la chaussée se débarrasse de neige entre le Caploch et l'ancien hospice.

« A partir de ce moment toutes les voitures traversent le Simplon sur roues, et les traineaux (ou glisses) disparaissent totalement.

« *Hauteur de neige* (tombée sans interruption). — Versant du Valais.

« Entre la forêt de Riederwald et le pont du Gauther, la neige atteint une épaisseur de 1 pied (de roi) (0^{m},33).

« Entre le pont du Gauther et la galerie de Caploch, elle atteint 2 à 3 pieds d'épaisseur (0^{m},66 à 1^{m}.).

« Entre le Caploch et le nouvel hospice du Simplon, elle atteint 4 pieds (1^{m},38).

« Versant d'Italie.

« Entre Iselle et le village du Simplon il tombe jusqu'à 1 pied de neige (0^{m},33).

« Entre le village du Simplon et l'ancien hospice, il tombe ordinairement de 2 à 3 pieds (0^{m},66 à 1^{m}) de neige.

« Entre l'ancien et le nouvel hospice, il tombe 4 pieds (1^{m},30) de neige.

« Ces indications donnent des résultats bien supérieurs à ceux que fournissent les observations météorologiques sur la hauteur

de neige tombée sans accumulation. Mais cela tient à ce que la hauteur est ici rapportée à la neige tombée sans interruption *pendant plusieurs jours*, tandis que les observations météorologiques sont faites *par jour*.

« *Observations sur les avalanches. Route du Simplon entre les 3e et 5e refuges.* — Ces observations indiquent le jour où les avalanches ont été observées; le lieu où elles se sont produites; l'épaisseur de la neige qu'elles ont répandue sur la route; leur surface en largeur, et les variations que leurs dimensions ont subies.

DATE de l'observation	LOCALITÉ	Epaisseur de la neige sur la route	Larg. de la surf. couverte sur la route par l'avalanche	VARIATIONS
		Mètres	Mètres	
22 décemb. 1859	Platbrunnen	2,55	16,00	Le 2 mars 1860, sa hauteur est de 2m,70, et sa largeur de 20m.
Id.	Strahlgraben	1,10	10,00	A 1m,40 de haut. le 2 mars 1860.
28 Id.	Mittenbachgraben	2,00	20,00	A 3m,40 et 30m,00 le 2 mars 1860.
	Meggeri	2,00	20,00	A 2m,70 et 28m,00 le 2 mars 1860.
	Shalberg	3,00	16,00	A 6m,00 et 58m,00 le 2 mars 1860.
1er janv. 1860	Stoukygraben	1,40	7,00	
Id.	Pont de Gauther	1,20	12,00	
Id.	Kounigraben	8,00	84,00	A 8m,20 et 43m,00 le 2 mars 1860.
2 mars	Wute Kumnée	1,50	8,00	
Id.	Strabloch	1,55	7,00	
28 février	Platbrunnen	2,40	11,00	De toutes les ravines de petites avalanches ou de petits éboulements de neige de 2m à 2m,20 de hauteur.
2 mars	Murhgraben	2,40		
Id.	Mill en Bach			

« Les points qui sont signalés dans l'hydrographie des avalanches sur la route du Simplon, comme étant ceux où elles se produisent régulièrement, sont :

« Au dévaloir, au fond de la rampe de Gondo.

« — en amont de Gondo, dit Fahrenvasser.

« A Casernette. Cette avalanche suit le couloir en face du petit refuge, placé à l'entrée (amont) de la galerie de Gondo.

« En amont de Casernette, aux deux couloirs ; l'une des avalanches passant par l'un de ces couloirs est nommée l'*avalanche criarde*, à cause du grand bruit qu'elle fait en tombant au troisième dévaloir, en amont de Casernette, soit un peu à l'aval du pont Alto.

« Au pont Alto (premier pont en aval de celui d'Algabi).

« Au revers du glacier des eaux froides.

« A l'ancienne galerie et au dévaloir de la belle cascade de Schalbeth.

« En aval du refuge n° 5.

« En aval de Caploch, dans les deux couloirs en aval.

« Au grand ravin de Gauther.

« Les avalanches dont le glissement est moins fréquent descendent :

« A la galerie d'Algabi ;

« Aux quatre dévaloirs entre le contour d'Algabi et le village du Simplon ;

« Vers Camasca ;

« Vers la pierre milliaire, en aval du refuge n° 7 ;

« En amont de Bérisal ;

« A Krombach.

« *Observations sur les tourmentes.* — Dans le Simplon, les passages habituels des tourmentes sont :

« Le long du village de Simplon ;

« Aux abords du refuge n° 7 ;

« Aux abords de l'ancien hospice;
« Id. du nouvel hospice;
« Id. du passage dit du Glacier des eaux froides;
« A Schalbeth,
« Aux abords du refuge n° 5;
« A Caploch;
« A Lygen;
« Au contour de Bérisal.

« L'effet des tourmentes de neige est d'entasser la neige sur certains points et d'encombrer la route en quelques instants. Elles arrêtent quelquefois la circulation et font plus de victimes que les avalanches, parce qu'elles surprennent le voyageur sur la route.

« Les interceptions du passage pendant l'hiver, causées par la neige, les avalanches et les tourmentes au col du Simplon, ont été, de 1845 à 1859, de 107 jours, soit en moyenne de 7 à 8 jours par hiver, ainsi qu'il résulte du relevé suivant des interruptions du passage, pendant 15 années, au col du Simplon.

Relevé des interruptions du passage, pendant quinze années, au col du Simplon.

ANNÉES	MOIS	Jours d'interruption	Nombre de jours de l'interruption par année	ANNÉES	MOIS	Jours d'interruption	Nombre de jours de l'interruption par année
1845	Janvier	10		1852	Février	4	
	Février	4			Décembre	3	7
	Mars	3					
	Décembre	3	20	1853	Mai		1
				1854	Novembre	5	
					Décembre	6	11
1846	Pas d'interruption			1855	Janvier	5	
1847	Février		4		Février	6	11
1848	Mars		7				
1849	Janvier	7		1856	Mars	1	
	Mars	3			Avril	3	4
	Avril	4	14				
				1857	Mars		1
				1858	Mai	2	
1850	Janvier	2			Décembre	1	3
	Février	3	5				
				1859	Février	2	
1851	Février	6			Mars	1	
	Mars	3			Avril	2	
	Décembre	3	12		Décembre	2	7
Total des jours d'interrup. pendant ces 15 dernières années...							107

§ VII. *Dans quelles limites convient-il d'employer l'adhérence pour gravir des rampes de 50 à 60 m/m dans la traversée des Alpes?*

En général, on admet, dans les locomotives, que l'effort de traction doit être compté égal au sixième du poids sur les roues mo-

trices et accouplées. Cet effort, il est vrai, est inférieur à celui que ces machines peuvent exercer momentanément, mais, généralement, cet effort maximum ne peut pas être maintenu parce que la surface de chauffe est insuffisante.

Donc, avec une surface de chauffe suffisante, on peut sans crainte compter sur un effort de traction égal au sixième du poids porté par les roues motrices et accouplées.

Lorsqu'on passe du niveau à une rampe, la pression sur les rails diminue, et dans ce cas l'adhérence devient une fraction de la composante normale au plan incliné.

Le tableau ci-dessous indique l'inclinaison des rampes, l'effort de traction qu'elles nécessitent et le rapport de cet effort avec le poids remorqué.

INCLINAISON des RAMPES	EFFORT DE TRACTION correspondant PAR TONNE	L'EFFORT ÉTANT 1 le poids remorqué SERA
Millimètres	Kilogrammes	
5	9,25	108
10	14,25	70
20	24,25	41
30	34,25	29
40	44,25	22,6
50	54,25	18,4
60	64,25	15,6

Ainsi l'effort de traction est, sur rampes de 5 m/m, la 108e partie du poids remorqué; il devient la 15e partie de ce poids sur rampes de 60 m/m.

Mais comme, pour la traversée des Alpes, nous avons admis

un effort de traction sur niveau de 8k, au lieu de 4k 25, l'effort de traction représentera sur rampes de 50 m/m les 58/1,000, et sur les rampes de 60 m/m les 68/1,000, du poids remorqué. Dans le premier cas, un effort de traction de 1,000 k. remorquera un poids de 18,400 kil., dans le second, le poids remorqué par 1,000 k. d'effort de traction sera de 15,600 kil.

Donc pour remorquer un train (machine comprise) de 216 tonnes brutes sur rampe de 60 m/m, il faudra un effort de 13,850 kil.

Mais la machine ne pesant que 62 tonnes ne pourra donner qu'un effort correspondant à son adhérence qui est de 10,333 kil.; il faudra demander les 3,518 kil. restant au premier véhicule, et ce véhicule devra peser $6 \times 3{,}517 = 21{,}102$ kil. Si un véhicule ne suffit pas, on en prendra deux semblables ; il faudra en outre, que les roues de ce véhicule soient entraînées par celles du moteur et leur soient reliées, ou qu'elles reçoivent directement leur mouvement de cylindres à vapeur placés sur le châssis du véhicule; c'est ce dernier mode qui est le plus simple, c'est celui que M. Flachat a adopté.

Le passage dans les courbes de 25 m. de rayon ont conduit M. Flachat à mettre un essieu pour chaque roue, afin de diminuer le frottement de glissement sur les rails, qui se produirait, si les deux roues étaient fixées sur le même essieu.

Mais le point délicat de cette disposition est de savoir si une seule bielle suffira à entraîner les roues accouplées avec les roues motrices; il y a tout lieu de le penser, d'après ce qui se passe dans les machines du système Arnoux et du système Roy, dans lesquelles une seule bielle suffit à l'entraînement des roues accouplées.

Si cet accouplement ne fonctionnait pas, il faudrait en revenir aux deux roues calées sur un même essieu, et subir les frottements de glissement qui en seraient la conséquence.

§ VIII. *Etude du passage des Alpes par le Simplon.*

Parmi les six passages déjà cités, qui traversent la chaîne des grandes Alpes, entre la Suisse et l'Italie, le passage du Simplon est celui qui présente les plus grandes facilités d'exécution pour une route ou un chemin de fer à ciel ouvert. Il suffit d'avoir vu la route du Simplon pour se convaincre de l'exactitude de cette importante donnée.

Ce passage présente en outre de nombreux avantages par sa position et par les circonstances politiques nouvelles. Il offre le trajet le plus court entre l'est de la France et Milan, le centre de la Haute-Italie. A ce titre, il a les sympathies des deux pays et peut compter sur leur concours. Il intéresse tout l'ouest de la Suisse et les compagnies importantes des chemins de fer qui le desservent.

Le chemin de fer partant du Simplon et descendant la vallée du Rhône deviendra une véritable tête de ligne, lançant ses rameaux sur la Savoie, sur le Jura, sur l'Alsace, la Suise et la forêt noire. Déjà ce chemin est en exploitation, de Sion au lac Léman, 52 kilomètres restent à faire entre Sion et Brigg pour aborder le Simplon ; du côté de l'Italie, d'Iselle à Arona sur le lac Majeur, il ne reste à construire que 53 kilomètres dans des conditions faciles d'exécution.

Entre les deux lacs Léman et Majeur, tout le pays parcouru sera peu productif, mais la richesse des points extrêmes mis en rapport assurera à la ligne qui les réunira un trafic rémunérateur. C'est ce qui résulte des développements donnés par M. Flachat.

Dans l'étude détaillée du passage, en partant de Brigg, l'escarpement abrupt du col du côté du Rhône donne immédiatement l'idée de diminuer la hauteur du tracé par un tunnel. Mais le col est très-épais, le versant sud étant beaucoup moins incliné. Aussi, pour abaisser le sommet de 250 mètres, faut-il faire un tunnel

de 2,940 mètres de longueur. Un abaissement de 500 mètres exigerait un tunnel de 7,800 mètres.

M. Flachat estime à 2,500 fr. par mètre le coût de ces tunnels; nous croyons ce chiffre loin d'être exagéré. L'un de nous a examiné les terrains avec soin. On rencontrerait, sur une très grande partie, des roches d'une excessive dureté et très-probablement une grande abondance d'eau. — En comparant les dépenses de tracés avec souterrain de 2,940 m. et des tracés à ciel ouvert à 35 m/m de pente, ou à 50 m/m, de pente, M. Flachat trouve pour le même espace franchi : dans le premier cas 7,350,000 fr., deuxième cas 1,720,000 fr., troisième cas 1,200,000 fr. En comparant le tunnel de 7,800 mètres, avec le tracé à ciel ouvert à 35 et 50 m/m, il trouve pour un même espace franchi par le tunnel 21,600,000 fr., par le tracé à 35 m/m 6,292,000, et par le tracé à 50 m/m 3,000,000.

Nous croyons un peu faible l'estimation des tracés à ciel ouvert, et nous devons ajouter que le raccourcissement de parcours, obtenu par les tunnels, donnera une économie de voie qui n'est pas mentionnée. Néanmoins l'économie définitive du tracé extérieur à 50 m/m reste énorme, comme argent; comme durée d'exécution, elle sera plus décisive. Nous ne croyons pas qu'on perce un tunnel de 2,900 mètres dans le col du Simplon, en moins de 6 à 8 ans; quant à celui de 7,800 mètres, il est difficile de lui assigner une limite de durée d'exécution, sans une étude très-approfondie ; mais il nous paraît très-modeste de ne l'estimer qu'à 12 ou 15 ans. Il faut compter qu'on rencontrera une grande partie de roches très-notablement plus dures que le granit.

Après cette comparaison sommaire des tracés avec et sans tunnels, M. Flachat continue parallèlement l'étude de tracés à ciel ouvert avec pentes de 35 et de 50 m/m. Lorsqu'il arrive au versant sud, dans les gorges étroites et escarpées de Gondo, il

démontre l'impossibilité absolue du tracé à 35 m/m, et le rejette d'une manière définitive. Laissons comme lui ce tracé.

Adoptant l'inclinaison de 50 m/m, l'étude de l'avant-projet devient facile à faire et à suivre sur le terrain; il côtoie presque constamment la route actuelle à une faible distance, tantôt plus haut, tantôt plus bas; la description du développement sur le versant nord ne peut se résumer, il faut la lire toute entière; et, en la lisant sur le terrain même, on suit le tracé de l'œil, comme s'il était jalonné. On y acquiert la conviction d'une grande facilité d'exécution, sans qu'il soit nécessaire de recourir à des courbes de moins de 100 mètres de rayon. Les versants des montagnes sur lesquels on s'appuie sont, il est vrai, souvent très-inclinés, mais leurs formes sont grandes et régulières, peu tourmentées dans les détails. Les terrains sont solides. Par une circonstance heureuse, les parties formées de débris, et qui pourraient constituer des cônes d'éboulement, sont composées de terrains quartzeux perméables, et, par conséquent, secs et solides.

Passant au versant sud, le tracé ne présente aucune difficulté jusqu'à Algaby, à 15 kilomètres du col et au delà du village du Simplon. D'Algaby à Gondo, on est enfermé dans une gorge étroite, encaissée dans des escarpements à pic de 400 à 600 mètres de hauteur. Sur 6,000 mètres de parcours la pente moyenne de la route est de 65 m/m par mètre. Cette partie du chemin a préoccupé sérieusement M. Flachat. Après un examen attentif du terrain, nous croyons qu'en profitant de l'élargissement de la vallée en face Gondo on pourra obtenir un tracé en retour, qui permettra de racheter l'excédant de pente. De Gondo à Iselle, la pente de 50 m/m sera, alors, facilement maintenue.

Dans tout le versant sud, nous n'avons pas vu non plus de points qui exigeassent des courbes de moins de 100 mètres de rayon. Nous ajouterons que, sur l'ensemble de tout le passage, on ne voit que le retour à faire à Gondo qui puisse demander

des courbes de moins de 200 mètres de rayon, si le chemin es exécuté dans les conditions ordinaires des lignes qui aboutissent au pied de la montagne.

Le tracé sur les deux versants donne

sur le versant	nord, longueur	25,085^{m}	hauteur	1,254^{m},25
d°	sud —	26,580	—	1,346 ,98
	Longueur totale	51,665^{m}	haut. totale	2,601^{m},23

Après avoir décrit le tracé et le profil en long, M. Flachat entre dans le détail de l'établissement de la plate-forme du chemin. Il prend pour point de départ de son étude les travaux de la route actuelle, dont il donne une description.

La route a été tracée avec une préoccupation constante d'économie; on peut affirmer qu'il était impossible de faire mieux et plus à propos. L'épreuve du temps a justifié la simplicité des travaux. La description de M. Flachat en donne une idée très-nette. Un des caractères saillants de cette construction est l'emploi des murs de soutènement en pierre sèche. Cet emploi doit être regardé comme une grande cause d'économie. Mais nous croyons que, pour un chemin de fer, le mur en pierre sèche en profil de remblai, c'est-à-dire soutenant la voie, ne saurait être admis qu'avec de gros matériaux de premier choix. Le passage de trains de chemin de fer, et surtout de grosses machines de 60 à 70 tonnes, engendre des vibrations qui seraient dangereuses pour les murs en pierre sèche sur le versant des montagnes.

La route a couté 82,000 fr. par kilomètre, pour toutes dépenses; elle a une largeur moyenne de 8 mètres.

Pour un chemin de fer de 10 mètres de largeur de plate-forme, M. Flachat estime la dépense à 75 fr. par mètre courant, pour terrassements et murs de soutènement. Il suppose un nombre de ponts égal à ceux de la route, qui sont suffisants; il fait 3,500 m. de galeries et abris contre les avalanches, et compte un total de 600 m. de percées souterraines.

Le chemin serait à deux voies avec gare de transbordement à Brigg et à Iselle. Six refuges, avec voie couverte et fermée et maisons, seraient répartis sur la ligne.

Une modification à ce tracé a été proposée par M. Jacquemin, ingénieur suisse, qui a exploré le Simplon au cœur de l'hiver. M. Jacquemin passerait le sommet du col en souterrain sur 2,000^{m} de longueur, il rachèterait une hauteur de 300^{m} sur le versant nord, et de 240^{m} sur le versant sud. Il en résulterait un racourcissement de 8,500^{m}, et la suppression de la plus grande partie des galeries et abris contre les neiges.

M. Jacquemin estime son tunnel à 1,600 ou 1,800 fr. M. Flachat l'estime à 2,500 fr. par mètre; nous sommes de son avis.

Comparant les dépenses, M. Flachat trouve que le tracé Jacquemin coûtera en plus 2,850,000 fr.; mais il oublie d'en déduire 8,500^{m} de voie à 100 fr. L'augmentation se réduirait donc à 2,000,000 de francs.

Moyennant cette réduction de 850,000 fr. qui nous paraît indiscutable, le tracé Jacquemin offrirait un avantage notable quant aux frais d'exploitation annuels.

Mais la vue des roches à percer, et la crainte d'une énorme quantité d'eau dans les travaux nous font redouter, pour le percement du tunnel, une durée d'exécution, capable de renverser tout le système économique de l'opération. Si, en effet, le tunnel retarde de 4 à 5 ans l'ouverture du chemin, le préjudice d'un tel retard fera préférer le passage en-dessus.

DEVIS d'un chemin de fer en rampes et en pentes de 50 m/m, traversant le Simplon entre Brigg et Iselle.

	Nombres	Prix	Sommes
§ 1. *Formation de la plate-forme de la voie.*			
		Fr.	Fr.
Terrassements, murs de soutènement et de revêtement..... (mètre courant).	51,665	75	3,874,875
Tablette de crête de la plate-forme. (d°).	51,665	4	206,660
Ponts et aquéducs.....	27		670,000
Percements.....(mètre courant).	600	800	480,000
Galeries pour abri contre les avalanches.(d°).	3,500	225	787,500
Détournement de la route actuelle en plusieurs points.....			400,000
Indemnités pour expropriation de terrains, maisons.....			500,000
§ 2. *Voie et accessoires.*			6,919,035
Double voie, changements de voie, plaques, télégraphe, alimentation des machines, clôtures... (mètre courant).	51,665	100	5,166,500
§ 3. *Stations, refuges, maisons d'ouvriers et de gardes.*			
Stations de transbordement à Brigg et à Iselle ..	2	250,000	500,000
Refuges, stations intermédiaires.....	6	80,000	480,000
Maisons d'ouvriers, de gardes.....	40	5,000	200,000
§ 4. *Matériel roulant.*			1,180,000
Ce matériel est calculé d'après une circulation journalière de 10 trains : les machines parcourant 15,000 kilom. par an, et les véhicules 12,000 kilomètres.			
Machines 12,500 kil. effort de traction.....	15	110,000	1,650,000
Véhicules, voitures et wagons.....	120	20,000	2,400,000
Machines à charrues pour enlever la neige.....	8	90,000	720,000
			4,770,000

Résumé

§ 1.	*Formation de la plate-forme*	6,919,035 fr.
§ 2.	*Voie et accessoires*	5,166,500
§ 3.	*Stations, refuges, maisons de garde*	1,180,000
§ 4.	*Matériel roulant*	4,770,000
	Fr.	18,035,535
	Intérêts des fonds pendant l'exécution, frais d'administration, etc., 11 0/0	1,964,465
	Total	20,000,000

§ IX. *Quelles sont les relations actuelles du commerce entre l'Italie et les contrées dont les chemins de fer aboutissent au pied des Alpes?*

Les statistiques publiées par l'administration des Douanes françaises ne séparent pas la voie de terre et la voie maritime; on n'en peut tirer que des indications sur l'importance du trafic en quantité et valeur, et sur la nature des articles.

La Suisse publie un tableau d'importation, d'exportation et de transit, relevé dans ses bureaux de douanes frontières; et la poste, qui fait le service des messageries, donne le parcours des voyageurs et leur produit. Tout ce qui circule en dehors des voitures de la poste échappe au contrôle, et quant aux marchandises, la Douane suisse met beaucoup de ménagement dans son service.

Quel que soit, cependant, le déficit de la statistique, il est clair que les transports à travers les Alpes ont aujourd'hui peu d'importance.

Voici, d'après l'administration des postes, le mouvement des voyageurs qui ont circulé en 1859 sur les quatre passages.

PASSAGES	DISTANCES	VOYAGEURS	PRODUITS	NOMBRE de voyageurs par KILOMÈTRE	PRODUITS par KILOMÈTRE
	Mètres	Nombres	Francs		Francs
Splugen.....	91,200	8,952	91,500	98	1,000
Bernardin.....	92,400	9,099	58,259	97	630
Saint-Gothard.....	186,000	26,149	274,305	141	1,372
Simplon.....	216,000	32,772	166,867	151	770
Totaux et moyenne...	585,600	76,972	590,931	131	1,000

Ce tableau ne comprend pas les voyageurs à pied, à cheval ou en voiture particulière. Le nombre de ceux-ci dût-il doubler, cela ne donnerait qu'un faible produit pour quatre chemins.

L'administration des douanes suisses donne le mouvement des bestiaux et marchandises par les bureaux des cantons frontières.

OBJETS		UNITÉS	CANTONS DE ST-GALL et GRISONS	CANTONS DE TESSIN	CANTONS DE VALAIS et GENÈVE
Animaux.	Importation	Têtes	26,352	4,942	76,564
	Exportation		14,607	19,594	8,436
	Transit		41,568	12,873	7,384
Objets taxés par collier					
Pierres, bois, tuiles, briques, ardoises, écorces, fourrages, chaux, houille, charbon de bois, fruits, volailles, poissons. . . .	Importation	Tonnes	28,905	2,927	75,240
	Exportation		2,035	6,434	4,222
Marchandises taxées par quintal de 50 kil..	Importation		52,728	23,525	36,362
	Exportation		6,332	5,174	4,676
Produits du sol du pays de Gex..	Importation		«	«	26,856
Mouvement.	des bestiaux	Têtes	82,527	37,409	92,384
	des marchandises	Tonnes	90,000	38,060	146,856

Ce tableau peut servir de renseignement utile pour le mouvement sur les passages du Simplon et du Lukmanier, cantons des Grisons et de Saint-Gall, et du Saint-Gothard, canton du Tessin.

Mais les produits de Genève et du Valais se répartissant sans désignation entre le Simplon et la frontière de Genève, on n'en peut pas conclure ce qui appartient au Simplon. Le commerce de Genève avec la Savoie absorbe, à lui seul, la plus grande partie du mouvement qui reste, quand on a déduit déjà la part du pays de Gex.

Ces renseignements sont donc insuffisants pour donner même un aperçu du trafic probable du Simplon. C'est beaucoup plus dans l'étude du commerce général, que l'on trouvera la future raison d'être de ce trafic.

Aujourd'hui encore, malgré les routes des passages, le prix des transports est tel, que les marchandises de grande valeur peuvent seules le payer. La voie de mer, beaucoup plus économique, apporte toutes les marchandises lourdes à l'Italie.

Ainsi, en 1858, l'importation de la houille anglaise a été de 208,429 tonnes dans les ports du littoral italien, dont 127,958 à Gènes. L'importation française a été nulle; nous avons vu que, par le chemin de fer du Simplon, Saint-Etienne et Blanzy pourraient concourir avec l'Angleterre sur le marché de Milan.

La statistique des douanes françaises démontre aussi ce fait d'un transit considérable de marchandises de grande valeur par les Alpes et la Suisse. La soie et les tissus divers entrent pour 200 millions en valeur et pour 10,000 tonnes en poids. Les marchandises de prix prennent la voie de terre, malgré l'élévation de frais de transport.

Les chemins de fer, en se rapprochant chaque jour des Alpes apportent déjà de grandes modifications dans le trafic. Le chemin de fer de Coire a doublé en 1858 le mouvement du passage du Bernardin.

Les informations locales portent le mouvement annuel actuel de voyageurs à :

30 à 36,000 au Saint-Gothard ;

25,000 au Simplon ;

10 à 11,000 au Splugen ;

9 à 10,000 au Bernardin.

Le passage des marchandises au Saint-Gothard et au Simplon ne dépasse pas 18 à 20,000 tonnes.

Cependant, comme il faut, pour calculer les frais d'exploitation, admettre pour le chemin de fer un trafic probable, M. Flachat s'arrête sur un chiffre de circulation qui peut être discuté, mais qui, certainement, n'a rien d'exagéré; il espère un mouvement annuel de 73,000 voyageurs et de 128,000 tonnes de marchandises. Les lignes suisses, et notamment la ligne de Saint-Maurice à Brigg, profiteraient de ce mouvement qui augmenterait leur produit net de 1,455,000 francs.

§ X. — *Dépenses d'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes.*

Tarif et trafic nécessaires pour couvrir les frais d'exploitation et l'intérêt du capital. — Les données sont, pour le passage du Simplon entre Brigg et Iselle : trajet 52,000 mètres; coût d'établissement 20 millions de francs; inclinaison du chemin 50 m/m ; transbordement de voyageurs et de marchandises; vitesse des trains, 16 kilomètres à l'heure; 4 trains réguliers par jour dans chaque sens, et 1 train facultatif dans une seule direction. Circulation annuelle 171,000 kilomètres.

Les dépenses d'exploitation se classeront : en intérêt du capital, traction, mouvement, entretien et surveillance, administration.

1° Intérêt du capital, à 6 p. 0/0; il sera de 1,200,000 fr., soit 7 fr. par kilomètre parcouru et 23,077 par kilomètre de longueur de chemin.

2° Traction. M. Flachat l'estime comme suit, par kilom. parcouru :

	fr.
Personnel.	0,50
Combustible.	1,46
Huile, suif, eau.	0,10
Entretien du matériel roulant.	1,05
Frais accessoires	0,30
Total.	3,26

Par année 557,500 fr.; par kilomètre de chemin 10,720 fr.

3° Mouvement. Les dépenses ordinairement comprises sous ce titre sont estimées à 1,20 par kilomètre parcouru, soit 3,865 fr. par kilomètre de voie. Par an . . . . . 201,000 fr.

4° Entretien et surveillance de la voie.

Entretien de la voie et des refuges 3,500 fr. par kilomètre, soit pour 52 kilomètres. . . . . 182,000 fr.

Surveillance à 1,000 fr.	52,000
Enlèvement des neiges.	90,000
Ensemble pour toute la ligne et par an. . . .	324,000 fr.

Soit 1 fr. 90 par kilomètre parcouru et 6,230 par kilomètre de voie.

5° Administration. Ces frais sont estimés à 100,000 fr. par an, soit 0,49 par kilomètre parcouru et 1,923 fr. par kilomètre de voie.

Résumant, on a, par kilomètre parcouru :	fr.
Intérêt du capital.	7, »
Dépenses de traction.	3,26
Dépenses du mouvement.	1,20
Entretien de la voie et surveillance.	1,90
Administration et imprévu.	0,59
Total.	13,95

La dépense annuelle sera par kilomètre de voie et pour la ligne entière par année :

Traction et entretien du matériel.	10,720 fr.	557,500 fr.
Mouvement.	3,865	201,000
Entretien et surveillance de la voie.	6,230	324,000
Administration.	1,923	100,000
Ensemble	22,738	1,182,500
Ajoutant l'intérêt du capital. . .	23,077	1,200,500
On aura un total de. . . .	45,815	2,383,000

à couvrir par les produits du trafic.

Quels devraient être les tarifs? Il paraît évident d'abord qu'il doivent être proportionnels aux dépenses. D'après ce qui précède, la dépense d'un train sera de 6 fr. 95 par kil. parcouru. Sur les chemins de fer français la moyenne de cette dépense est de 2 fr. 58. Les rapports, entre les tarifs des voyageurs et marchandises et les dépenses, seraient donc par kilomètre parcouru :

DÉPENSES			TARIFS MOYENS		
Lignes françaises,	2 fr. 38 —	Voyageurs,	0 fr. 72	March.	0,082
Passage du Simplon,	6 95 —		0 21	—	0, 24

Un mouvement de 73,000 voyageurs et de 128,000 tonnes traversant le Simplon, payant ce tarif, couvrira les dépenses et l'intérêt du capital.

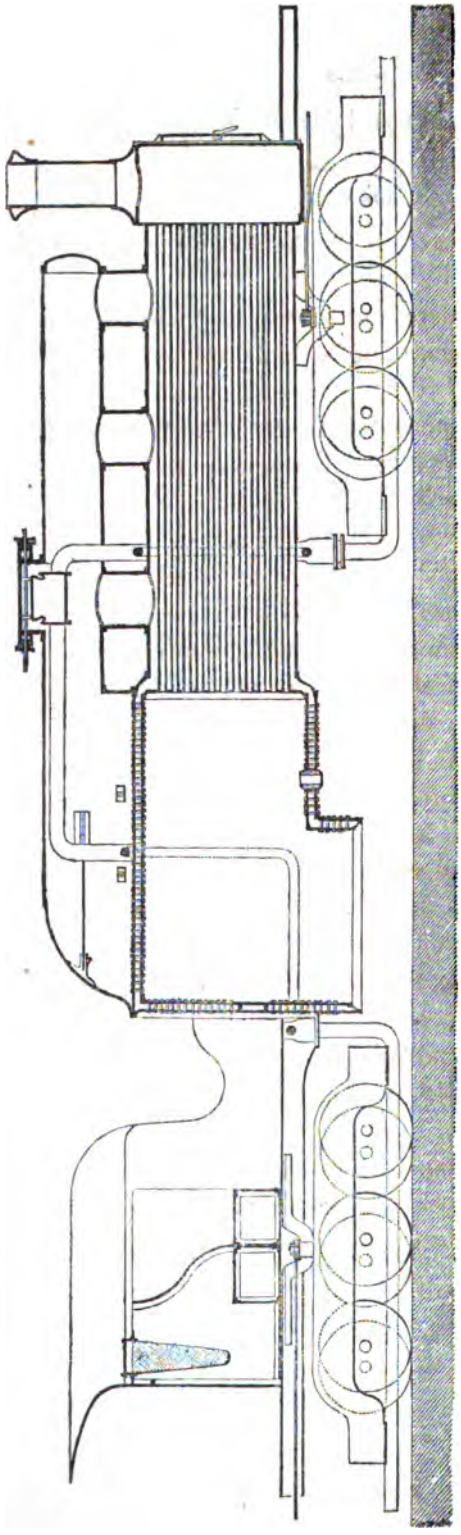
Aujourd'hui le transport des marchandises coûte de 0 fr. 51 à 0 fr. 72 par tonne et par kilomètre. Le trafic qui vient d'être indiqué suppose aux trains un poids moyen de 169 tonnes au lieu de 216 tonnes qui pourraient être remorquées par la machine étudiée.

§ XI. *Description du matériel roulant*

Nous donnerons un court extrait de ce chapitre.

Machine locomotive. — Cette machine se compose du générateur et de son tender qui sont portés par deux trucks à six roues couplées.

Générateur. — La boîte à feu comprend le foyer et la cham-



bre de combustion qui pénètre dans la partie cylindrique de la chaudière. Dans les générateurs ordinaires des locomotives, cette annexe à la boîte à feu n'est obtenue qu'aux dépens de la partie tubulaire ou du foyer; ici elle peut être adoptée, si ses avantages sont reconnus, sans nuire aux autres parties de l'appareil, parce que la distance des supports laisse le choix des dispositions de la chaudière. L'expérience prononcera sur le mérite de cette disposition qui a été fort recherchée.

Le corps cylindrique est complétement rempli de tubes. Cette disposition nuit, sans doute, à la facile émission de la vapeur, mais cet inconvénient, corrigé, d'ailleurs, par de larges tubulures, est racheté par un avantage important : la longueur du générateur étant de 8 mètres, sa marche, sur une rampe de 50 m/m donnerait lieu à une dénivellation d'eau de $0^{m},40$ entre les deux extrémités. Si cette

dénivellation eût dû s'opérer dans le corps cylindrique ou dans la partie supérieure du foyer, la quantité d'eau supplémentaire qu'elle eût motivée eût été très-considérable, et les dimensions de la partie cylindrique et du dessus du foyer eussent dépassé toute proportion.

En donnant aux tubulures une hauteur de $0^m,40$, la dénivellation s'opère exclusivement dans le faible volume d'eau qu'elles contiennent.

Le réservoir de vapeur prend, au-dessus de la boîte à feu, la forme de la tubulure ayant toute la longueur de cette boîte. La partie demi-cylindrique de la boîte à feu se continue, sous cette tubulure, en double enveloppe comme les parois; mais, entre chaque intervalle des entretoises, une ouverture de 6 à 8 centimètres de diamètre laisse plein passage à la vapeur. Le résultat de ces dispositions est de donner une grande légèreté relative au générateur proportionnellement à sa puissance. Elles permettent aussi de donner au réservoir de vapeur telles dimensions que l'expérience indiquera.

La prise de vapeur distribue celle-ci en avant et en arrière, à chacun des deux trucks. Les conduits descendent de chaque côté de la machine et se réunissent par paire, l'une sous le corps cylindrique, l'autre sous la plate-forme du mécanicien. Après la bifurcation, le conduit de vapeur se dirige vers le centre du truck. Plus loin, sont décrites les autres parties de la conduite de vapeur.

L'introduction du foyer dans la chaudière se fera par la face d'avant, au moyen du prolongement des parois latérales pour former le joint avec la plaque de devant qui sera emboutie, ou bordée d'un fer d'angle.

C'est à la partie prolongée des parois latérales de la boîte à feu que sera attaché le tender. La rivure devra offrir une grande solidité en ce point, mais l'espace est disponible et aucune difficulté ne se présente.

L'alimentation aura lieu par les appareils connus. (Petit cheval et appareil Giffard.)

La plate-forme du mécanicien sera disposée pour qu'il soit complétement à l'abri pendant l'hiver.

Les supports à pivot, placés sous le générateur et le tender, sont un des points délicats du système de construction. Ils devront résister à un poids de 18 à 20 tonnes, mais là n'est pas la difficulté. Ce qui est nouveau, c'est d'obtenir, sur ce point, un pivotement facile, c'est-à-dire un frottement sans altération possible, sans grippement des surfaces en contact. Il faut aussi que la base qui assure la stabilité soit aussi grande que le permet la dimension transversale des trucks.

Les moyens consisteront à employer l'acier pour les colliers du pivot, pour les galets, pour leur essieu, et pour leur table de roulement; à disposer les surfaces en contact de façon que la pression qu'elles auront à supporter soit inférieure, par centimètre carré, à celle que supportent les fusées des essieux; enfin, à donner aux ressorts des trucks une flexibilité propre à atténuer les chocs résultant de l'état de la voie.

Trucks. Les trucks des machines seront à six roues couplées et fixes sur les essieux, comme dans le matériel ordinaire, lorsque, comme sur le Simplon, le rayon des courbes ne descendra pas au-dessous de 100 mètres. Quatre roues seulement seront fixes sur les essieux et couplées, sur les tracés où le rayon des courbes descendra jusqu'à 25 mètres.

La charpente métallique de ces trucks est disposée de façon à contenir, dans le châssis, tous les appareils mécaniques comme dans une boîte fermée. Le mécanisme serait celui d'une locomotive très-légère sans tuyauterie ni pompe, en un mot, sans aucun des accessoires dépendant du générateur.

Le frein sera celui qui sert aux puissants appareils employés, sur les ports, au chargement des navires, pour modérer la des-

cente des fardeaux les plus lourds suspendus aux chaînes des grues. Un demi-cercle en fer s'appuie sur la demi-circonférence de la roue, et y exerce une pression qui permet de suspendre instantanément le mouvement rotatif; mais la très-grande puissance d'arrêt de ce frein n'ôte rien à sa sensibilité, et il permet de ralentir aussi bien que de suspendre le mouvèment. Il peut être manœuvré à la main par l'appareil à vis ordinaire, et par la vapeur au moyen d'un cylindre.

Comme un truck contient deux mécanismes de machine, les deux conduites d'admission et d'échappement de vapeur se dirigent sur chacun des truks vers les cylindres à vapeur. Elles n'ont qu'une partie mobile, celle qui s'attache, d'un côté, à la conduite principale et, de l'autre, à la tubulure sortant du châssis intérieur du truck. Cette partie mobile est construite en caoutchouc vulcanisé et enveloppée d'un tissu métallique. Les mouvements en sont faibles et les conditions de construction faciles.

La conduite principale, destinée à porter la vapeur aux cylindres des trucks de la machine et au besoin à des voitures du train, sera rigide sous les véhicules, et flexible seulement en ses points d'attache.

M. Flachat a trouvé de sérieuses difficultés dans les moyens de transmettre le mouvement de manœuvre de l'introduction de vapeur, de la détente et du frein, à chacun des trucks.

Les différences qui se produisent dans les courbes, entre la position des axes des véhicules et ceux des trucks, imposent des complications réelles à la transmission des manœuvres opérées par les mécaniciens placés sur les plates-formes extrêmes de la machine et des véhicules.

Dans les courbes de 100 mètres de rayon, la différence de position des axes étant très-peu sensible, la difficulté disparaît; mais, pour des rayons de 25 mètres, elle existe.

Entre bien des solutions, M. Flachat a décrit celle qui lui a

paru la plus simple et la plus rapide pour les manœuvres de vapeur et du frein ; nous renvoyons pour ces détails à sa publication.

Véhicule. — Le *véhicule* serait celui dont il est fait exclusivement usage en Amérique, et que le Central-Suisse a adopté. Il en différera, pour les véhicules moteurs, par la construction des trucks et par la conduite de vapeur qui sera suspendue aux boulons des supports, et passera sous les essieux.

La barre de traction sera rigide, en ce sens qu'elle ne se prêtera qu'aux articulations nécessaires aux déviations horizontales des axes des véhicules, et aux mouvements verticaux résultant de l'inclinaison et de l'état de la voie. Elle sera attachée au boulon du pivot (cheville ouvrière) des trucks, par une fourche, comme le sont les bielles des pistons.

La conduite du train appartiendra au mécanicien placé en tête, sur la machine. Ce mécanicien mettra la vapeur dans la conduite principale, soit pour la marche, soit pour le ralentissement ou l'arrêt du train. Les autres mécaniciens, placés en tête de chaque véhicule moteur, introduiront la vapeur dans les cylindres moteurs et dans les cylindres des freins par les deux appareils à manœuvrer dont ils disposeront dans ce but, et que nous avons décrits. Le personnel ainsi attaché au service de la traction sera de trois hommes pour le générateur, et de deux hommes pour chaque véhicule.

Le service spécial du mouvement, en ce qui concerne les soins relatifs aux voyageurs et aux marchandises, sera fait par d'autres agents.

§ XII. *Résumé.*

Ce chapitre ne peut être que transcrit, il résume les conclusions de M. Flachat sur tous les points traités dans son mémoire.

1. A partir des points où le thalweg des vallées d'accès, aux cols de passages des Alpes suisses, dépasse l'inclinaison de 35 m/m, qui est la limite extrême à laquelle les chemins de fer peuvent

être exploités dans des conditions suffisantes de régularité et d'économie avec les machines locomotives les plus puissantes que l'on construise aujourd'hui, l'établissement des chemins de fer ne peut être continué, sans excéder cette inclinaison, qu'au moyen de dépenses considérables et de percements souterrains.

2. La durée de ces travaux reporterait l'exploitation des lignes à un grand nombre d'années.

3. La dépense d'établissement, comparée à celle que coûterait l'emploi d'inclinaisons de 50 m/m, les grêverait en excédant l'intérêt du capital, d'une annuité de 27,000 fr. par kilom. de voie.

4. La dépense d'exploitation, en supposant une circulation sur les passages des Alpes de 9 trains par jour, serait grevée d'un excèdant de dépense de 7 fr. par train et par kilomètre; soit de 350 fr. par train faisant le trajet entier du passage.

5. La traversée des Alpes par un chemin de fer ne doit pas être établie dans des conditions qui imposent le fractionnement des trains amenés du nord ou du midi par les lignes aboutissant aux pieds des cols.

6. Ce n'est pas à de faibles inclinaisons et à des percements souterrains de grande longueur qu'il faut recourir pour obtenir ce résultat, c'est aux forces mécaniques nécessaires pour franchir de fortes inclinaisons.

7. La machine-locomotive peut franchir des rampes de 50 m/m à des conditions de régularité et de rémunération suffisantes pour rendre profitable aux capitaux engagés l'exploitation des passages des Alpes, moyennant un trafic annuel de 73,000 voyageurs et de 128,000 tonnes de marchandises.

8. La machine-locomotive peut pourvoir, sur des rampes de 50 m/m., à des éventualités d'accroissement de trafic très-considérables, tout en se prêtant à la solution la plus économique et la plus immédiate, pour un trafic restreint.

9. L'impuissance des machines-locomotives actuelles à desser-

vir des rampes de 50 m/m dérive de l'insuffisance de la production de vapeur et de leur adhérence.

10. L'effort de traction, développé par les machines les plus puissantes, n'atteint pas aujourd'hui, d'une manière permanente, 6,000 kilog.

11. L'adhérence employée au sixième du poids moteur ne dépasse pas 6,700 kilog.

C'est, dans les deux cas, la moitié de la puissance nécessaire pour exploiter utilement les passages des Alpes sur des inclinaisons de 50 m/m.

12. Il est facile, en appliquant à la construction des machines les dispositions des supports sur la voie du matériel américain, d'obtenir une production de vapeur correspondante à un effort de 12,500 kil.

13. Il est possible d'employer cet effort de traction en utilisant, pour l'adhérence, les roues des véhicules des trains.

14. Les dispositions des supports du matériel américain, appliquées à la construction des machines-locomotives, permettront de mieux proportionner les différentes parties du générateur et de produire la vapeur avec plus d'économie.

15. L'adhérence au sixième peut être, dans la montagne, une condition de retard ou d'impuissance; mais, en employant les dispositions du matériel américain, et en transmettant à toutes les roues des véhicules la puissance motrice, l'adhérence peut être employée aux 58/1000e, soit aux 17e du poids moteur, sur les rampes de 50 m/m.; et sur les rampes de 60 m/m aux 68/1000e, soit à peu près au 15e du poids du train.

Du sixième au dix-septième, il y a toute garantie d'une adhérence suffisante et, en conséquence, tout se résume dans la construction du générateur, et dans les moyens d'en transmettre la vapeur aux véhicules du train.

16. De tous les systèmes, celui qui, théoriquement, présente

les plus complètes garanties de puissance et de régularité, soit pour l'ascension, soit pour la descente des rampes, est celui qui donne, à chaque véhicule, des moyens d'action qui lui sont propres, soit pour activer, soit pour ralentir la marche.

17. Si, dans la pratique, cela s'écarte de ce qui est reçu et semble amener des complications, l'objection se borne à une simple difficulté d'agencement que l'art résoudra, sans aucun doute, avec simplicité, tant les lois théoriques s'imposent avec rigueur et continuité dans la marche du progrès.

18. En ce qui concerne les machines, le problème, réduit à la simple augmentation de la surface de chauffe pour proportionner la puissance à la résistance, est si près d'une solution qu'on ne peut que s'attendre à voir surgir un grand nombre de dispositions par lesquelles ce résultat sera atteint.

Quant à la distribution de la puissance mécanique aux véhicules, la diversité des moyens, la merveilleuse facilité de l'esprit à simplifier les procédés de transmission de force, en assurent également le succès.

19. Au point de vue du trafic, la convenance ou plutôt la nécessité de proportionner la puissance mécanique de traction aux besoins des transports sera un stimulant suffisant pour amener l'emploi de générateurs capables de desservir des trains assez pesants, pour qu'en aucun cas les voyageurs aient à attendre, au pied des Alpes, parce que le train de la traversée du col ne pourrait prendre tous ceux qu'aurait amenés le train de la plaine.

20. Le climat des Alpes n'oppose pas, par le froid, des obstacles plus sérieux que le climat de la Russie, où le froid n'a jamais compromis la régularité de l'exploitation des chemins de fer.

21. La neige tombant régulièrement n'offrira pas plus d'inconvénients que dans les chemins exploités dans des contrées où elle couvre la terre pendant sept mois.

22. La neige entassée par les tourmentes nécessitera une organisation spéciale d'ouvriers pour l'enlever immédiatement. Les quantités ainsi entassées seront toujours insignifiantes, relativement à la puissance des moyens de les faire disparaître avec la promptitude nécessaire pour que le service ne soit pas entravé.

23. Les avalanches doivent toutes être détournées de la voie. Cela est facile, parce que leur situation et leur régime sont aussi connus dans la montagne que le sont les lits et le régime des sources et des torrents.

24. Les tourmentes sont plus fréquentes, mais leur violence n'est pas plus grande dans la montagne que dans la plaine. Elles ne feront pas courir aux trains des risques plus grands, et la pesanteur spécifique du matériel accroîtra les garanties à cet égard.

25. Les passages suisses puisent dans la neutralité politique de ce pays un mérite spécial : celui d'établir, au point de vue pacifique, des liens commerciaux complétement à l'abri de toute commotion entre les Etats qui touchent à ses frontières.

26. Une conflagration générale du centre et du midi de l'Europe n'empêcherait pas la continuation des échanges entre les nations hostiles entre elles, à travers la Suisse.

27. Entre ces passages, ceux du Simplon et du Saint-Gothard sont les plus utiles aux relations entre la France et l'Italie.

28. A ce titre ils devraient, plus que les autres, améliorer les lignes suisses par le trafic qu'ils leur apporteraient.

29. Le Simplon est, de tous les passages, celui qui se présente le plus favorablement dans le système des percements souterrains.

30. C'est aussi ce passage dont les accès, par voie ferrée, sont, du côté nord, les plus avancés.

31. L'annexion de la Savoie à la France assure au passage du Simplon les sympathies de ce pays: mais il n'y a pas lieu de supposer que la France se décide à concourir, pour ce passage,

à une solution du genre de celle qui est appliquée au Mont-Cenis.

32. Les dispositions du col du Simplon sont également favorables pour un tracé à ciel ouvert d'un chemin de fer à fortes inclinaisons.

33. C'est à Brigg, du côté nord, et à Iselle, du côté du midi, que l'inclinaison du thalweg des vallées d'accès dépasse 35 m/m et qu'il y a lieu d'adopter les inclinaisons de 50 m/m, pour le profil du chemin de fer. La configuration des versants permet d'adopter un rayon minimum de 100 mètres pour les courbes.

34. La distance entre Brigg et Iselle est de 52 kilomètres ; la dépense d'établissement du chemin de fer, de 20 millions.

35. Un profil de 35 m/m, avec souterrain de 7,800 mètres, coûterait 49 millions.

36. Considéré comme opération financière, le passage des Alpes à ciel ouvert, par un chemin de fer, se justifie par l'importance des relations commerciales qu'il fera naître, mais il ne trouve dans le courant actuel de la circulation que des produits insuffisants, à cause de l'élévation du prix des transports.

37. Ces relations commerciales s'élèvent aujourd'hui à plusieurs centaines de millions en valeur, mais le tonnage est faible, les articles d'échange étant d'un très-haut prix.

38. Les données statistiques ne peuvent donner que des impressions ; les chiffres directs et précis manquent.

39. L'impression qui résulte de la connaissance du trafic entre la France et l'Italie, quelque incomplets que soient les documents, est que le parcours annuel de 73,000 voyageurs, nécessaire pour couvrir l'intérêt du capital et la dépense d'exploitation, serait assuré, ainsi que celui de 128,000 tonnes de marchandises, au premier chemin ouvert dans cette direction ; et que le produit net, qui en résulterait, en outre, annnuellement, pour les lignes suisses, pourrait approcher de 1,500,000 francs.

40. Les frais d'exploitation d'un chemin de fer traversant les

Alpes, ayant quatre trains et demi par jour dans chaque direction, s'éleveraient à. . . . . 1,182,500 fr.
L'intérêt du capital de 20 millions coûterait. . 1,200,000
La dépense totale serait de. . . . . 2,382,500 fr.

41. Considérée par train et par kilomètre, cette dépense reviendrait;

En frais d'exploitation, à 6 fr. 95
En intérêt du capital, à 7 »
Ensemble 13 fr. 95

42. Le tarif établi d'après la comparaison des frais d'exploitation avec les lignes françaises serait de 21 centimes pour les voyageurs, et de 24 centimes pour les marchandises.

Des trains portant, en moyenne, 45 voyageurs et 39 tonnes de marchandises traversant le col couvriraient la dépense d'exploitation et l'intérêt du capital.

43. Le poids *utile* ainsi transporté serait inférieur de plus de moitié à celui que pourrait remorquer l'effort de traction que la machine serait susceptible de maintenir.

44. Des inclinaisons de 35 m/m, des courbes de 250 à 300 mètres, avec souterrain, ajouteraient à cette dépense 1,380,000 fr. par an, en intérêts du capital d'établissement.

Depuis la publication de l'étude de M. Flachat, le Gouvernement italien a posé, pour la traversée des Alpes par les chemins de fer, le programme technique suivant :

« Les systèmes de construction et d'exploitation que l'on choisira parmi ceux qui ont été proposés se réduisent à trois, savoir :

« 1° Limiter, jusqu'à une certaine hauteur, l'étendue des deux tronçons de chemin de fer sur les deux versants de la montagne, et les relier par un tronçon de route ordinaire, en attendant que

l'on éclaircisse la question de savoir s'il convient de les réunir par un tunnel d'une longueur exceptionnelle;

« 2° Prolonger les deux tronçons de chemin de fer, et atteindre une hauteur qui permette de les relier par un tunnel de moindre longueur ne dépassant pas celle des tunnels ordinaires, et de construire ce tunnel par les moyens connus et des puits;

« 3° Prolonger les deux tronçons en question jusqu'au sommet de la montagne, de manière que, pour traverser cette dernière, on n'ait plus à construire qu'un tunnel très-court, d'une exécution prompte, facile et sûre, lors même qu'on ne pourrait y faire de puits. »

Sur ce programme, de nouveaux projets ont surgi : ils suivent les pentes des vallées d'accès aux cols en se développant en lacets ou en cercles, quand l'inclinaison de ces vallées est plus forte que celle adoptée pour le profil.

L'exploitation à ciel ouvert du chemin de fer du Jura industriel, pendant deux hivers rigoureux, et dans une contrée située à 1,230 mètres au-dessus du niveau de la mer, où pendant la majeure partie de l'année la neige s'accumule jusqu'à trois mètres d'épaisseur autour du chemin de fer, a montré qu'il n'y a pas à s'effrayer des influences atmosphériques jusqu'ici considérées comme l'obstacle le plus sérieux au passage des Alpes par un chemin de fer.

On distingue donc aujourd'hui deux espèces de projets : les uns, les plus anciens, évitent autant que possible, au moyen de souterrains de grande longueur, les influences atmosphériques en tenant le tracé dans les basses régions de la montagne : ce sont les projets indiqués dans le programme du Gouvernement, n°s 1 et 2. Les autres, les plus nouveaux, gravissent les rampes des cols, et se bornent à des tunnels de faible longueur sous les faîtes; ce sont ceux dont le programme du Gouvernement recommande l'étude sous le n° 3.

Or les accès des cols offrent des conditions tellement identiques, qu'il n'y a pas lieu de tenir compte de leur hauteur, dès qu'il s'agit de les franchir par de longs souterrains.

Une très-belle étude exécutée entre Coire et Locarno, par M. Michel, ingénieur en chef des Ponts-et-Chaussées, et par MM. Pestalorzy et Wetly, ingénieurs en chef, a été présentée au Gouvernement italien par M. Paulin Talabot, au nom de la Compagnie de l'Union des chemins de fer suisses. Le profil gravit la passe Sainte-Marie (Luckmanier) par des inclinaisous de 25 m/m par mètre, au moyen de sept lacets sur le versant du nord et de neuf lacets sur le versant du midi. Le faîte, situé à 1,917 mètres au-dessus du niveau de la mer, est franchi à 1,870 mètres par deux courts souterrains, d'une longueur totale de 2,008 mètres. Ce projet avait reçu la sanction du Gouvernement italien, il a été ajourné par l'opposition d'un canton suisse, mais il suffit à démontrer que les obstacles qu'on semblait prévoir pour la traversée des Alpes par un chemin de fer à ciel ouvert se sont évanouis devant l'étude approfondie d'ingénieurs expérimentés.

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(OCTOBRE, NOVEMBRE, DÉCEMBRE 1861)

N° 16

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Fabrication du fer*, à Londres. (Voir le résumé de la séance du 4 octobre, page 383.)

2° *Utilisation des routes pour l'établissement des chemins de fer économiques*, par MM. Molinos et Pronnier. (Voir les résumés des séances des 4 et 18 octobre, pages 386 et 391.)

3° *Construction des flottes militaires*, préférence à accorder au fer sur le bois. (Voir le résumé de la séance du 18 octobre, page 392.)

4° *Explosions de machines-locomotives*, en Angleterre, en Allemagne et en Espagne. (Voir le résumé de la séance du 8 novembre, page 393.)

5° *Puits artésien de Passy*, communication de M. Ch. Laurent. (Voir le résumé de la séance du 8 novembre, page 394.)

6° *Inondations souterraines dans les quartiers nord de Paris.* (Voir les résumés des séances des 22 novembre et 6 décembre, pages 400.)

7° *Great-Eastern* (accident arrivé au), par M. Verrine. (Voir le résumé de la séance du 22 novembre, page 400.)

8° *Pont de Kehl* (communication de M. Guillaume sur le). (Voir le résumé de la séance du 6 décembre, page 406.)

9° *Pont Victoria devant Montréal* (communication de M. Ivan Flachat sur le). (Voir le résumé de la séance du 6 décembre, page 408.)

10° *Situation financière* de la Société. (Voir le résumé de la séance du 20 décembre, page 419.)

11° *Élection* des membres du Bureau et du Comité. (Voir le résumé de la séance du 20 décembre, page 420.)

12° Révision du Réglement (Voir le résumé de la séance du 20 décembre, page 411).

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Malo, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur *l'Asphalte, son origine, sa préparation et ses applications;*

2° De M. Petitgand, membre de la Société, un exemplaire de son travail sur *l'exploitation et le traitement des plombs dans le midi de l'Espagne;*

3° De M. Barman, ancien ministre plénipotentiaire, colonel fédéral, un exemplaire d'une publication intitulée *Simplon, Saint-Gothard et Lukmanier;*

4° De M. Noblet, éditeur, un exemplaire des 3°, 4° et 5° livraisons 1861, de la *Revue universelle des Mines, de la Métallurgie et des Travaux publics;*

5° Les nos 2, 3, 4, 5 et 6 de la *Revue des Ingénieurs Autrichiens;*

6° Les nos d'août, septembre, octobre et novembre du bulletin de la *Société industrielle de Mulhouse;*

7° Les nos de janvier, février, mars et avril 1861 des *Annales des Ponts-et-Chaussées;*

8° Les nos des 2e, 3e et 4e livr. de 1861 des *Annales des Mines;*

9° Le n° du dernier bulletin des séances de la *Société impériale et centrale d'agriculture;*

10° De M. Prouteaux, un exemplaire d'une notice sur *l'électromagnétisme appliqué aux chemins de fer,* et un exemplaire d'une notice sur des *lampes de sûreté pour les mines de houille;*

11° De M. Marché, membre de la Société, un exemplaire des *Formules nouvelles pour calculer l'épaisseur de la culée dans les voûtes plein-cintre, anse de panier et arc de cercle*, par M. Marguet;

12° De M. Love, membre de la Société, de la part de M. Oudry, ingénieur des Ponts-et-Chaussées, un exemplaire d'une notice sur le *Pont suspendu de Castelfranc* (Lot), système de MM. Cadiat et Oudry; un exemplaire d'une notice sur *l'emploi de la tôle, du fer forgé et de la fonte dans les ponts* (système Cadiat et Oudry), et une *épreuve photographique du pont de Brest;*

13° De M. le Ministre des Travaux Publics de Belgique, un exemplaire du *Compte rendu des opérations du chemin de fer de l'État pendant l'année* 1860;

14° De M. Vuigner, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur le *pont du Rhin à Kehl;*

15° De M. Duroy de Bruignac, membre de la Société, une étude sur l'*Enquête de l'industrie métallurgique,* faite à l'occasion du traité de commerce avec l'Angleterre.

16° Les nos d'octobre, novembre et décembre, du journal *The Engineer ;*

17° De M. Yvert, membre de la Société, un exemplaire du rapport de MM. Delesse, Beaulieu et Yvert, sur *l'inondation souterraine qui s'est produite dans les quartiers nord de Paris ;*

18° Les nos de janvier, février, mars, avril, mai et juin, du Bulletin de la *Société de l'industrie minérale ;*

19° Le n° de juillet et août des *Annales télégraphiques ;*

20° Le n° de septembre, octobre et novembre des *Annales des conducteurs des Ponts-et-Chaussées ;*

21° Les nos d'octobre, novembre et décembre du Bulletin de *la Presse scientifique des Deux-Mondes ;*

22° Les nos d'août, septembre et octobre du Bulletin de la *Société d'encouragement ;*

23° De M. Oppermann, les nos d'octobre, novembre et décembre, des *Nouvelles annales de la construction et du Portefeuille économique des machines ;*

24° Le n° de mai du Bulletin de *l'Institution of Méchanical Engineers ;*

25° De M. Nozo, membre de la Société, une note sur *l'explosion de trois machines locomotives ;*

26° De M. Ch. Laurent, une note sur le *puits artésien de Passy ;*

27° De M. Gérondeau, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur *l'agglomération des charbons menus ;*

28° De M. Aubry, un exemplaire d'un mémoire descriptif d'un système applicable aux *chemins de fer à courbe de petits rayons ;*

29° De M. Carpentier, membre de la Société, une note sur le *mouvement différentiel appliqué à plusieurs genres de machines-outils construites par les ateliers de Graffenstaden ;*

30° De M. Félix Mathias, membre de la Société, de la part de M. Berrens, un exemplaire d'un mémoire sur la *traversée des montagnes avec l'air comprimé dans des tunnels métalliques;*

31° De M. Mathieu (Ferdinand), membre de la Société, un exemplaire d'un *Album contenant les plans d'ensemble des principaux ouvrages d'art exécutés au Creusot;*

32° De M. de Comberousse, membre de la Société, un exemplaire du tome II de son *Cours de mathématiques;*

33° De M. César Daly, les nos 4, 5, 6, 8 et 9 de *la Revue d'architecture;*

34° De M. Jucqueau, membre de la Societé, une note explicative sur les causes présumées des ruptures des plateaux mobiles des plaques tournantes, pour voies de chemins de fer.

35° De M. Germon, membre de la Société, une brochure intitulée : *Question des eaux de Paris*, réponse de M. Robinet, par M. le docteur Jolly.

Les membres nouvellement élus sont les suivants :

Au mois d'octobre :

M. Dambricourt, présenté par MM. Guillaume, Fresnaye et Laligant.

Au mois de novembre :

MM. Vinchent, présenté par MM. Petiet, Mathias et Petit de Coupray.

Saillard, présenté par MM. Faure, Peligot et Durenne.

Au mois de décembre :

MM. Vigreux, présenté par MM. Faure, Callon et Tresca.

Génissieu, présenté par MM. Flachat, Perdonnet et Noisette.

Dru, — par MM. Faure, Yvert et Ser.

Chateau, — par MM. Faure, Tresca et Farcot.

RÉSUMÉ DES PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT LE 4e TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1861

SÉANCE DU 4 OCTOBRE 1861

Présidence de M. Eugène FLACHAT

Le PRÉSIDENT présente quelques explications sur la fabrication du fer, à Londres, dans les établissements du Jhames iron brulding Cy qu'il vient de visiter. Cette compagnie a sur les bords de la Tamise de vastes établissements, qui se composent principalement de forges et de chantiers de construction de navires et de charpentes en fer.

Le *Warrior* et sa cuirasse en fer forgé y ont été construits. Le fer employé provient de débris de vieux rails en fer doux sortant des forges du pays de Galles (Ebb-wale, Tredegar, Rhymney, Blaina). Ces rails sont généralement de la forme dite Brunel qui exige des fers doux. Cependant il entre une part de rails double T, mais dont la qualité, d'après la cassure, semble d'une bonne nature. Les paquets sont composés de fragments de 0m60 environ de longueur; ils sont traités au marteau pilon et passés au laminoir sous forme de méplats de 0m15 environ de largeur, sur 20 à 25 m/m d'épaisseur. La longueur des barres est de 3m30 environ et leur poids est d'environ 90 kil. Ces barres sont de nouveau coupées en longueur de 60 à 80 centimètres, et mises en paquets de manière à former des massiaux qui, forgés au marteau pilon, ont une largeur de 0,50 à 0,60 centimètres, une épaisseur de 0,10 à 0,12, et une longueur d'environ 0,80 centimètres; le poids de ces massiaux varie donc entre 350 et 400 kilogr.

Pour forger des arbres ou des plaques de navires cuirassés, ces massiaux sont superposés puis forgés au pilon; la pièce est amenée à sa forme par une extrémité, et elle est continuée par la superposition successive des massiaux nécessaires pour lui donner sa longueur. Cette méthode a pour résultat de permettre de forger les pièces les plus longues; c'est une question de grues et de facilité de maniement. L'ensemble est parfaitement soudé.

La cuirasse du *Warrior* se compose de plaques de 3 pieds 1/2 de largeur (1m067) sur 20 pieds (6m10); leur épaisseur est de 125 m/m (5 pouces). Leur poids est donc de 6400 kilogr.

La principale des forges de l'établissement consiste en un vaste croissant formé par des fours à réchauffer de très-grandes dimensions, chauffant par leur chaleur perdue des générateurs à vapeur qui desservent deux marteaux

pilons de 5 tonnes chacun, placés dans l'arc formé par les fours. Les fours et les marteaux sont desservis par de puissantes grues.

Les fers qui proviennent de ces fabrications sont d'une grande douceur, autant que le constatent les coupes grasses faites par les cisailles, les débouchures des poinçons et le travail du tour et du rabotage.

L'homogénéité et la ductilité se reconnaissent au poli et à la longueur des copeaux produits par les tours et les machines à raboter. La qualité est encore affirmée par la facilité avec laquelle le fer se soude sous de petites épaisseurs de tôle, et par l'engagement que prend la compagnie vis-à-vis du commerce, que ses fers résistent à un effort de traction de 34 k. par m/m² (22 tonnes par pouce carré). Les mêmes massiaux de seconde opération produisent au laminoir des tôles de poids différents suivant qu'ils sont superposés. Mais dans le cas de superposition ils sont toujours préalablement traités au marteau pilon.

Les tôles qui forment la coque des navires et dont l'épaisseur varie entre 20 et 35 m/m ont généralement 10 pieds de longueur (3m05) sur 3 pieds à 3 1/2 pieds de largeur (0m915 à 1m067), leur poids peut aller ainsi jusqu'à 850 kilog.

Cette compagnie doit sa réputation à l'excellence de ses fers; et, d'après ce qui précède, on voit que leur bonne qualité est principalement due à la multiplicité des opérations que le fer subit. Plus le nombre des opérations est grand, plus le fer est bon.

Il est à remarquer cependant que le nombre même de ces élaborations serait une cause d'altération du fer plutôt que d'amélioration, si la qualité du charbon n'était pas tout à fait supérieure. Avec des houilles tant soit peu sulfureuses, ou même donnant naissance à des cendres chargées de silice, un pareil traitement du fer serait complétement impossible. Nous avons du reste reconnu, dans tous les ateliers d'Angleterre et d'Écosse, la très-bonne qualité de la houille employée dans les forges maréchales et dans les fours à réchauffer.

L'usage du marteau pilon est devenu d'ailleurs général, même pour les plus petits échantillons de fer.

Nous avons reconnu encore un fait très-général en Angleterre ; c'est que dans le perçage, le diamètre de la matrice est toujours beaucoup plus grand que celui du poinçon. La différence est de 3 à 5 m/m suivant le diamètre du trou. Cela produit des trous coniques et le rivet est fabriqué en conséquence. Mais cette méthode entraînerait des fentes et des éclats si le fer n'était pas très-doux.

Les chantiers de construction de navires de Glascow, Greenock, Liverpool et Londres, ont tous une installation analogue ; ils se composent d'un terreplein sur lequel sont les cales de construction. Nous n'en avons point vu de couvertes. La longueur de ces cales varie entre 100 et 150 mètres. Quelques chantiers ont des formes de constructions munies de portes d'écluse et servant à la réparation des navires.

L'outillage consiste : en de vastes planchers en fonte percés de trous ré-

guliers pour donner aux membres du navire les formes requises; en bancs de laminoirs de grandes dimensions pour courber à froid les tôles les plus épaisses; en machines à river, cisailles et machines à poinçonner; en forges outillées de leurs marteaux pilons; en grues et fours propres à forger les pièces d'étrave et d'étambot; de vastes ateliers de charpente, de menuiserie et d'ébénisterie munis d'un assortiment complet d'outils à travailler le bois. Plusieurs de ces ateliers de menuiserie emploient des machines entièrement nouvelles et fort ingénieuses, pour éviter la main-d'œuvre qui se réduit en réalité à l'assemblage des bois.

En général, les outils de poinçonnage et de cisaillage sont mis en mouvement par de petits cylindres à vapeur spéciaux fonctionnant à de très-grandes vitesses.

Le cisaillage se fait avec un très-grand soin, afin d'éviter l'emploi des machines à raboter pour dresser les tranches. C'est là une des lacunes de cet outillage. Le perçage se fait sans emploi de chariots. Les pièces sont portées sous la machine à poinçonner, soit à bras d'hommes, soit par des grues. Elles sont présentées sous le poinçon, la place des trous ayant été préalablement marquée au cordeau et par des tampons. Il en résulte que le perçage est irrégulier; mais comme la seconde plaque superposée est tracée sur les trous de la première, les inconvénients de l'irrégularité disparaissent en partie.

Il est apparent, du reste, que les constructeurs de navires ont un très grand intérêt à employer des fers doux, à cause de l'énorme proportion de travail à froid qui se fait dans ce genre de construction, et qui explique l'économie de la main-d'œuvre. Les tôles, les fers d'angles, les barrots sont courbés, cisaillés et percés à froid. Il faut en outre que ce fer doux soit soudant, car aucune pièce ne se continue par un joint. C'est à la très-bonne qualité du charbon qu'il faut encore attribuer la facilité des opérations de soudage.

L'emploi des fers doux donne un caractère tout particulier à la façon de la rivure. Elle est généralement faite à l'aide de petits marteaux très-légers. Il n'est point employé de turk pour tenir coup, mais un simple marteau à devant, soit appuyé directement, soit disposé en forme de levier. Nous n'avons vu que très-rarement le rivetage exécuté par l'emploi de lourds marteaux à main.

Les fers employés dans les constructions des navires sont en général des fers doux très-soudables; aussi ne voit-on nulle part, dans les bonnes constructions, les artifices nécessaires pour les assemblages quand le fer est de mauvaise qualité, tels que les goussets, les fourrures pour réunir les extrémités des pièces dont la longueur est trop faible. C'est ainsi que les membres forment d'un seul morceau la double hauteur des parois d'un navire.

Les barrots, les carlingues sont également d'un seul morceau, leurs extrémités sont repliées, et il y est ajouté par voie de soudure la partie qui est rivée avec le membre. C'est une règle générale que le fer est ainsi amené à la forme d'emploi sans rapiéçage.

Un autre caractère général de cette industrie, c'est que les fers lui sont livrés par les fabricants sous des formes très-régulières; les tôles très planes, unies, coupées avec soin et aux dimensions prescrites; les fers d'angle et autres très-bien dressés. A cet égard, il y a une grande différence avec ce que livrent nos fabricants aux ateliers de construction, et même avec les fers livrés, pour l'exportation, par les fabricants anglais.

La bonne qualité du fer généralement employé dans les chantiers de construction de navires est le résultat d'une pression considérable exercée par l'opinion publique sur ces établissements, et aussi par le Loyd anglais et le Board of Trade, à la suite de sinistres résultant de l'emploi de fers d'une qualité fort inférieure, dont nous avons vu des spécimens provenant des coques de navires dont la refaçon partielle était devenue nécessaire.

Dans son état actuel, cette industrie est largement installée. Ses ateliers démontrent combien l'abondance des capitaux est grande dans ce pays, et facilite la création de puissants outillages. Elle est devenue aujourd'hui, pour le gouvernement anglais, une des bases de sa puissance politique. A Londres, à Liverpool, à Glascow, à Greenock, à Hull, les chantiers des constructeurs sont en partie occupés par les commandes de l'Etat, et lui offrent des moyens infiniment supérieurs à ses besoins.

Construction des navires en acier.

Nous avons vu dans les chantiers de M. Wigram, à Londres, un bateau construit en acier puddlé, pour la traversée du détroit.

Le fabricant estime que la résistance de cet acier est double de celle du meilleur fer.

Les dimensions qu'il a données sont cependant les 2/3 de celles qu'aurait eu un navire en fer. Les barrots en acier de forme double T, les fers d'angle et les fers de formes spéciales formant le squelette du navire, sont des chefs-d'œuvre de laminage. Le grain de l'acier indique une bonne qualité. La soudure s'en fait très-facilement sur des épaisseurs de 5 m/m. La rivure nous a paru beaucoup trop faible et disproportionnée avec les dimensions du bordé. Cette fabrication est encore à l'état expérimental. L'acier puddlé n'est réellement bon que là où il provient de minérais aciéreux d'excellente qualité. Ce spécimen est le seul que nous ayons eu l'occasion d'observer.

M. LE PRÉSIDENT ouvre la discussion sur le § 5 du Mémoire de MM. Molinos et Pronnier, *des services à obtenir, dans l'exploitation des chemins sur routes, des établissements actuels de roulage et auberges, en remplacement des stations de chemins de fer.*

M. MOLINOS fait remarquer qu'il n'a proposé cette organisation que pour les lignes à trafic restreint; que d'ailleurs elle peut se compléter par l'établissement d'un bureau central dans les villes un peu importantes.

UN MEMBRE fait observer qu'une exploitation se bornant à un simple

transport de marchandises a déjà été expérimentée en partie. Les Compagnies anglaises ne livrent jamais aux destinataires; elles ont des traités avec les maisons de roulage, qui se chargent de la distribution des colis, et en deviennent responsables.

En Belgique, le destinataire est obligé de venir chercher sa marchandise aux stations. Le gouvernement belge voulut, il y a plusieurs années, établir un service de camionage semblable à celui des Compagnies françaises, c'est-à-dire avec responsabilité complète, et il ne tarda pas à y renoncer.

On ne peut du reste qu'approuver le système de voie de transport qui utilise, en leur donnant de nouvelles forces, les établissements existant. Il y a là un élément d'activité qui assure aux nouvelles voies les revenus immédiats de presque tout le mouvement commercial donnés par les routes sur lesquelles elles seront établies.

On passe à la discussion *des avantages et inconvénients d'une traction sur rampes de* 0,025.

M. Molinos fait remarquer que la question d'application des machines aux fortes rampes peut se généraliser et se discuter à un point de vue purement théorique; que la question capitale est de savoir si les fortes rampes n'entraînent pas des dépenses ou des inconvénients qu'il n'aurait pas prévus; les dépenses d'exploitation et d'entretien ont, dit-il, été conclues des dépenses faites sur les grandes lignes, mais il pourrait se faire que des membres de la Société eussent recueilli des résultats d'expériences faites dans les conditions de notre programme, et alors il deviendrait possible de voir si les dépenses de combustible et de traction sont supérieures à celles que nous avons cru devoir adopter.

On fait observer que les calculs faits par MM. Molinos et Pronnier supposent que l'exploitation a lieu sur des pentes continues; or, quelques ingénieurs pensent que les machines faites pour des pentes de 25 m/m grèvent l'exploitation des parties en palier à cause de leur poids.

M. Molinos répond qu'il est évident que les machines faites pour de fortes rampes doivent, à cause de leur poids mort, grever l'exploitation des parties horizontales; mais que la traction n'en est pas moins plus économique sur les paliers que sur les rampes continues qu'ils ont admises dans l'établissement de leurs calculs.

M. Nozo, discutant l'emploi du matériel roulant actuel sur les voies proposées, fait remarquer qu'on a cru longtemps qu'il était impossible de faire passer dans les courbes des machines à plus de 4 roues couplées, et l'on a été conduit à faire porter aux essieux des charges qui se sont élevées jusqu'à 17 tonnes; les conséquences ont été des détériorations coûteuses du matériel et de la voie, et l'on a dû tendre à augmenter le poids des rails.

Depuis quelque temps les tendances sont toutes différentes; on cherche à augmenter le nombre de roues accouplées de manière à diminuer la charge par essieu et la fatigue des rails. M. J.-J. Meyer vient de construire une machine donnant 80 tonnes d'adhérence, sans que la charge maxima par essieu dépasse 7 tonnes. Cette machine est formée d'une chaudière reposant

sur deux trucks à 6 roues couplées ayant chacun un mécanisme spécial, l'indépendance complète des deux trucks permet à la machine de passer par des courbes de 80 mètres de rayon.

On ajoute que l'emploi des trucks pour supporter des machines tend à se généraliser en Angleterre; la Compagnie du Great Western en a à l'avant et à l'arrière de ses machines. Plusieurs de ces trucks n'ont pas de cheville ouvrière, et ils ne peuvent subir que les déviations nécessaires pour le passage dans les courbes du rayon minimum.

M. Maniel a aussi fait des machines à 6 essieux couplés, dont la base était assez petite pour pouvoir passer dans des courbes de 114 mètres de rayon, et avec l'adhérance suffisante pour remonter des rampes de 35 m/m.

M. Nozo dit qu'on étudie au chemin de fer du Nord, d'après les idées de M. Pétiet, une machine à six essieux couplés sur un même chassis rigide, présentant une base de $6^{m}50$, et des charges ne dépassant pas 7 tonnes par essieu. Afin de pouvoir passer dans les courbes avec cette longue base, on a laissé aux boîtes des essieux d'avant et d'arrière un jeu de 15 m/m, que l'expérience acquise a montré suffisant pour permettre le passage des aiguilles et courbes de petit rayon. Ces machines ne coûteront guère qu'un peu plus de graisse que les autres, et auront l'immense avantage de permettre, dans certaines circonstances, la réduction du poids des rails; c'est ainsi que les chemins algériens étudient, avec des machines à charge maxima de 7 tonnes par essieu, l'emploi d'un rail de 27 kilog.

Ces explications sont accueillies avec un vif intérêt.

On dit que la réduction du poids du rail entraîne immédiatement une grande augmentation dans la dépense d'entretien de la voie.

M. Nozo fait observer que cela est vrai pour des chemins existant, c'est-à-dire lorsqu'on fait circuler le même matériel sur deux voies de poids différents; mais qu'il ne saurait y avoir cette même différence lorsque la réduction de poids du rail est déterminée d'une manière convenable par rapport à la diminution de la charge portée par les essieux moteurs des machines.

La discussion est portée sur *les inconvénients que peut avoir le système proposé par rapport au matériel actuel, et sur la détermination du rayon minimum des courbes à employer.*

M. Nozo. — En Angleterre, l'écartement des essieux atteint 7 mètres, aujourd'hui, en France, il est de $4^{m}50$, et il atteindra prochainement 5 mètres; avec ces dernières longueurs, on peut circuler dans des courbes de 100 mètres, et descendre même à 50 mètres pour des cas exceptionnels. La difficulté pour composer des trains circulant sur des courbes de cette nature réside dans le choix d'un bon système d'attelage.

M. Molinos. Le point important est que le matériel à marchandises puisse passer sur nos voies.

M. Flachat croit, comme M. Nozo, qu'il pourra passer, et il cite l'exemple des wagons à 6 roues qu'il a fait construire pour les terrassements des docks, lesquels ont circulé facilement, sans altération rapide du

bandage, dans des courbes de 130 mètres de rayon, bien que l'écartement des essieux fût de 5m00 et leur charge de 20 tonnes; les boîtes à graisse portent le châssis directement avec la simple interposition d'une épaisse plaque de caoutchouc; ces wagons sont encore en service au Midi après huit années de travail.

M. Delonchant pense que l'on se trompe lorsqu'on suppose que l'on pourra passer sur des routes avec des rayons minimum de 100 mètres. Le chemin américain de la Place de la Concorde a été réduit à employer à Versailles, pour le passage de la place d'Armes, une courbe de 64 mètres de rayon. Le chemin américain de Rueil à Bougival a des courbes de 10 mètres de rayon; il est certain que dans beaucoup de traversées de villages on rencontrera les mêmes difficultés.

M. Molinos répond qu'il admet qu'on reportera le tracé en dehors des villages, toutes les fois que les routes qui les desservent auront des angles trop fermés pour permettre l'emploi d'un rayon convenable.

On fait observer que M. Molinos a admis pour ses trains une vitesse de marche moyenne de 20 à 25 kil., cette vitesse paraît très-raisonnable: quant au personnel des trains, il semble trop peu nombreux et les salaires sur lesquels on a compté sont faibles; néanmoins l'augmentation de dépense qui pourrait résulter de traitements plus élevés serait peu importante.

M. Molinos. La question qui nous a le plus préoccupés, c'est la dépense de traction sur les fortes rampes, l'excédant de dépense qui résulte de l'accouplement des roues est apprécié d'une manière fort différente par les auteurs; on trouve dans l'ouvrage de M. Perdonnet une estimation des dépenses de traction sur la rampe d'Epernay qui est de beaucoup supérieure à la dépense admise par nous; la différence peut s'expliquer par ce fait que le trafic est tout entier à la remonte, tandis que nous avons admis qu'on général il y a balance.

M. Nozo dit que sur le Nord il y a des trains de voyageurs traînés par des machines à 3 essieux couplés, et d'autres avec des machines sans accouplement, et qu'il croit qu'il serait difficile de trouver un accroissement de dépense dû à la différence des machines employées.

M. Flachat rappelle un travail de M. Chobrzynski, duquel il résulte que la dépense d'accouplement des essieux ajoute peu à la dépense d'entretien des machines.

M. Nozo admet que la consommation en combustible calculée par M. Molinos et Pronnier est exacte.

M. le Président annonce que la Commission qui était chargée d'examiner les modifications à apporter au réglement de la Société vient de déposer son rapport qui sera examiné par le Comité; il engage donc les Sociétaires, qui auraient des modifications à proposer, à vouloir bien les adresser au siége de la Société avant le 25 de ce mois.

SÉANCE DU 18 OCTOBRE 1861

Présidence de M. Eugène Flachat

Le Président a été informé qu'il a été publié des documents intéressants sur les chemins d'embranchement à construire en Angleterre sur les routes, chemins et rues, et exploités par locomotives et chevaux. Il a reçu plusieurs de ces documents sur lesquels un travail bibliographique a été demandé à M. Verrine, membre de la Société, qui s'en occupe en ce moment.

Il résulte de ces documents qu'un projet de bill a été soumis au Parlement par feu sir Robert Ferguson, intitulé : ***Bill pour faciliter les communications intérieures en Irlande***, et dont le but est de donner pouvoir aux personnes qui désireraient établir des chemins de fer, d'employer pour cet objet, sous un contrôle convenable, les routes de toute espèce et chemins à usage commun, partout où cela pourra être fait sans dommage pour l'intérêt public; acheter et posséder en outre les autres terrains nécessaires; et exploiter ces chemins pour le service des voyageurs et des marchandises soit par les locomotives soit par les chevaux. Un bill semblable a été déposé pour l'Écosse.

Parmi les publications sur cette matière qui ont attiré l'attention en Angleterre, on distingue celles de MM. Edmond Sharpe et Charles Burn, ingénieurs civils, qui entrent dans de grands détails sur les conséquences qui résulteraient de l'emploi des routes et chemins, en économie sur la construction des embranchements. L'emploi des locomotives se prête, disent-ils, à des largeurs de voie infiniment moindres que la voie actuelle, et nous avons d'ailleurs de cela un exemple remarquable dans plusieurs chemins français et belges, et notamment aux chemins de Commentry à Montluçon et de Gand, en Belgique, dont la voie qui est d'un mètre environ se prête à des transports considérables en voyageurs et en marchandises par les locomotives. Ils font observer également que plus la largeur de la voie est faible, plus le matériel est économique de construction; de plus, il n'exige dans les gares qu'un petit nombre d'hommes pour les manœuvres. Ils ajoutent que les grandes lignes ne peuvent pas plus consentir à répandre leur matériel sur les chemins d'embranchement, que ceux-ci ne pourraient abandonner le leur aux grandes lignes; qu'aujourd'hui le transbordement est de règle en pareil cas, aussi bien pour les voyageurs que pour les marchandises; que, pour celles-ci, on a réduit les frais de transbordement à 30 cent. au plus, à l'aide de quelques dispositions mécaniques. Pour la houille, les minerais, les matériaux, les frais de cette opération sont encore moindres. Ils font également remarquer que, si un chemin d'embranchement doit être exploité par des chevaux, la largeur de la voie dépendra de la nature du

trafic et du choix du matériel, parce que cette largeur doit être différente suivant que la traction a lieu par un cheval, ou deux chevaux, ou trois chevaux de front.

Dans le matériel actuel la voie a 1m 50, et la largeur des véhicules est de 3m10; dans la même proportion, une voie d'un mètre se prête à des véhicules de 2m de largeur, ce qui excède la largeur des véhicules ordinaires circulant sur les routes. Ils ajoutent encore que les chemins de fer actuels, considérés comme troncs principaux, ont été développés outre mesure en Angleterre; que la concurrence à cet égard n'a pas rendu les mêmes services que l'eussent fait des embranchements de chemins économiques; qu'aujourd'hui tout centre de population qui est distant d'une gare de chemin de fer de plus de 15 kilomètres est déshérité des avantages du chemin de fer, et que ses produits agricoles et industriels arrivent sur le marché avec défaveur à cause de l'augmentation de prix de transport; qu'à ce point de vue il reste en étendue plus de chemin de fer à établir qu'il n'en a été fait jusqu'à ce jour. Ils concluent de toutes ces raisons que la plus grande liberté d'initiative doit être laissée aux concessionnaires de ces chemins, dont on ne peut espérer qu'un produit très-restreint. Ainsi, la largeur de la voie, ses inclinaisons, ses courbes, le matériel roulant, le mode d'exploitation seraient libres, le contrôle du gouvernement ne s'appliquant qu'aux mesures propres à concilier chacun de ces systèmes avec le seul intérêt de la sécurité publique.

La discussion est continuée sur le mémoire de MM. Molinos et Pronnier. A propos d'une remarque relative à la circulation des machines locomobiles sur les routes qui est autorisée en Angleterre et qui jusqu'à ce jour ne paraît pas avoir eu pour conséquence d'effrayer les chevaux. M. Nozo fait remarquer que tous les jours à la Villette les machines locomotives passent au milieu des nombreux attelages de la Grande-Rue de La Chapelle sans qu'il en soit jamais résulté le moindre accident. Mais il craint que M. Molinos n'ait pas assez tenu compte du danger d'incendier les maisons couvertes en chaume dans la traversée des villages.

M. Molinos répond que, partout où les machines passent très-lentement, les dangers d'incendie sont nuls. L'expérience est complète à cet égard. Or, la traversée dans les villages s'opèrera toujours à une très-faible vitesse.

Une discussion s'engage sur les causes d'incendie provenant des machines. Quelques membres les attribuent exclusivement aux fragments tombant des foyers; d'autres aux fragments qui sont lancés par la cheminée. Mais les diverses opinions sont d'accord qu'avec une marche lente et des dispositions convenables de cendrier et de grillage les causes d'incendie seront presque nulles; que cependant il serait désirable que les couvertures en chaume disparussent à cause de la facilité qu'elles offrent à la propagation des incendies.

La discussion s'élève sur le genre de machines qui conviendra le mieux à l'exploitation des chemins de fer à courbes de faibles rayons. Plusieurs

membres considèrent l'emploi des trucks à essieux très-rapprochés et à roues accouplées comme présentant une solution convenable, surtout avec de faibles vitesses.

M. Larpent s'élève contre la trop grande extension donnée à l'accouplement rigide des essieux. Il dit que, d'après des expériences faites au chemin de fer de Lyon, une machine à quatre roues couplées consomma 2 kilog. de plus par kilomètre, à charge égale, que lorsque les roues étaient laissées libres.

L'exactitude de cette expérience est contestée. On lui oppose les documents statistiques récemment publiés par M. Chobrzynski qui établissent que, malgré l'accouplement rigide de huit roues, — l'emploi des machines de ce genre a donné lieu à une économie considérable de combustible proportionnellement au poids remorqué.

M. Molinos croit que les dispositions qu'il a proposées d'une chaudière servant deux trucks moteurs ayant chacun quatre ou six roues couplées présentent à la fois un arrangement mécanique très-convenable et très-économique. Il désire beaucoup savoir quelles objections on peut opposer à ce système.

Il demande également que les nombres qu'il a posés comme prix de revient des frais d'exploitation soient de nouveau discutés.

On fait observer que, pour les personnes peu versées dans l'exploitation des chemins de fer il est difficile de concilier les estimations de M. Molinos avec les résultats de l'exploitation de nos grandes lignes; mais que le service, tel qu'il est indiqué dans le travail soumis à l'examen de la Société, ne comprenant pas de personnel sédentaire des gares et stations, dont le coût égale et dépasse, dans les grandes exploitations, la dépense de traction, on se rend compte du faible prix porté dans l'évaluation; mais on peut regretter que M. Molinos n'ait pas assez appelé l'attention sur l'économie que doit procurer un mode d'exploitation supprimant à la fois les dépenses considérables du *service du mouvement* et du *service commercial*. Quant aux salaires, s'ils sont estimés un peu bas, l'excédant de dépense déterminé par leur augmentation ne saurait influencer d'une manière sensible le devis général des dépenses d'exploitation présenté dans le mémoire.

M. Gaudry donne lecture des extraits d'une publication de M. Scott Russell sur les motifs de préférence à accorder, dans la construction des flottes militaires, au fer sur le bois. Ces extraits qui font partie d'un article bibliographique sur *l'emploi du fer dans les constructions navales* seront insérés au bulletin.

M. Dambricourt a été reçu membre de la Société.

SÉANCE DU 8 NOVEMBRE 1861

Présidence de M. Eugène Flachat

MM. Thoyot et Beaulieu, ingénieurs en chef des Ponts-et-Chaussées, et M. Delesse, ingénieur des Mines, assistent à la séance.

M. le Président informe la réunion du décès de M. Eaton-Hodgkinson membre honoraire de la Société.

Les travaux de ce savant ont été exposés dans une notice publiée par une des Sociétés scientifiques dont il faisait partie. Cette notice a été traduite par M. Love, membre de la Société, qui, par la nature de ses propres travaux, était depuis longtemps en relation avec M. Hodgkinson.

M. le Président propose l'insertion de cette notice dans le bulletin.

M. Nozo décrit les effets de trois explosions de machines locomotives qui ont eu lieu, l'une en Angleterre, l'autre en Allemagne, et la troisième en Espagne.

M. Faure fait remarquer que l'une des explosions est attribuée à une production instantanée de vapeur, au moment de l'alimentation de la chaudière, ce qui est d'accord avec l'opinion généralement admise, que l'une des causes les plus fréquentes des explosions est dans l'introduction d'une grande quantité d'eau sur des parois qui, par l'abaissement du niveau de l'eau, ont pris une température très-élevée. M. Faure rappelle les expériences faites par M. Thomas à ce sujet.

On fait remarquer que, dans l'origine, les explosions de machines locomotives se produisaient dans les parties de la chaudière dont la forme était la moins résistante, c'est-à-dire dans les foyers et les dômes; qu'aujourd'hui elles sont plus fréquentes dans les corps cylindriques, soit par suite d'un mauvais système de clouure, soit par l'altération des tôles elles-mêmes. Cela est d'autant plus intéressant que les dimensions des foyers ont considérablement augmenté, et qu'il est en outre facile d'éviter les déchirures des corps cylindriques, soit par la surveillance des altérations, soit par l'emploi de tôles de bonne qualité et de la double rivure. On peut considérer qu'aujourd'hui les chaudières de machines locomotives bien construites offrent plus de sécurité que celles des machines fixes, en ce sens que, la conservation des tubes exigeant une alimentation plus régulière, l'abaissement du niveau est évité avec plus de soin.

M. Nozo ne pense pas que tous les accidents qui se produisent puissent être attribués à une mauvaise construction, ni même à un mauvais choix des matières employées; les eaux d'alimentation, suivant leur nature, attaquent plus ou moins profondément les tôles, et il est telles machines qui, après avoir fait le service dans certaines localités, reviennent profondément attaquées. Au chemin du Nord ce fait a été remarqué pour les locomotives

employées sur le littoral; au reste les érosions affectent des dispositions toutes particulières; certains points, tels que les attaches des faces latérales du foyer avec les faces arrières, sont surtout sujettes à ces altérations, bien qu'elles soient fabriquées généralement avec de la tôle de très-bonne qualité pliée à angle droit. M. Nozo est d'avis qu'il conviendrait de recueillir le plus grand nombre possible de renseignements sur les explosions des chaudières, de façon à pouvoir en conclure les causes générales. Il rassemblera tous les faits qui viendront à sa connaissance, et il espère que les membres de la Société voudront bien l'aider.

M. le Président rappelle que cette étude est suivie avec beaucoup de soin par la commission des machines à vapeur et que les *Annales des Mines* publient des documents très-détaillés sur les explosions des chaudières.

M. Laurent donne lecture d'une note sur le puits de Passy. Il dit qu'il n'avait pas cru jusqu'à présent devoir prendre part aux discussions auxquelles a donné lieu ce forage depuis sept ans. Il pense qu'aujourd'hui il lui est permis de discuter franchement, non plus des théories, mais des faits présentés par M. Dumas, avec son talent habituel, dans sa communication à la séance de l'Institut du 30 septembre, et qu'il n'envisage pas sous le même point de vue.

Il croit M. Dumas dans l'erreur, quand il annonce que l'expérience est faite pour des débits de 2,000 à 4,000 mètres cubes par jour et des diamètres de 0,20 et 0,30. Ce n'est pas d'ailleurs à Paris que cette expérience a pu être faite encore, le puits de Grenelle n'ayant qu'un orifice de 0,10, dimension sans doute trop petite; mais il faut se rappeler l'époque à laquelle ce puits a été fait, en tenant compte au sondeur de ce qu'il n'avait aucune connaissance de la profondeur qu'il devrait atteindre, et qu'il travaillait dans un terrain qui n'avait pas encore été exploré. Au Sahara, M. Laurent peut citer des puits débitant plus de 6,000 mètres cubes par jour, par un orifice de 0,20 suffisant pour un débit plus considérable, si la nappe était plus abondante.

Il a cherché à établir une comparaison entre le rendement des nappes de Grenelle et de Passy, en supposant que les eaux se déversent à une même hauteur avec la vitesse de l'un ou l'autre puits, il indique le débit que présenterait suivant ses calculs le puits de Passy avec des diamètres de 0,20, 0,30, 0,40, et 0,70 à la vitesse d'ascension dans le puits de Grenelle, et le diamètre que devrait avoir ce dernier puits avec la vitesse réalisée dans le puits de Passy. Il trouve qu'un diamètre de 0,40 serait plus que suffisant pour donner passage à la magnifique nappe obtenue à Passy.

M. Laurent ne se rend pas compte, d'après ce qu'il sait des sables et des grès verts, de l'utilité que devaient présenter les orifices de 0,35 de longueur sur 0,06 de largeur, pratiqués dans la colonne de bronze formant la base de la colonne ascensionnelle en bois qu'on avait préparée à l'avance, il aurait compris qu'elle eût été descendue à la fin du travail comme on le fait d'ordinaire; elle ne tient lieu que d'une colonne de retenue en tôle qui eût été beaucoup moins couteuse. Il a été surpris de la voir

descendre dans le forage avant qu'il eût atteint la profondeur à laquelle on pouvait espérer rencontrer la nappe de Grenelle.

M. Laurent croit que la grande section du puits explique pourquoi la nappe de Grenelle, rencontrée à 577m50 n'a pu s'élever jusqu'au sol bien qu'il fût de 19m70 au-dessous du point d'écoulement de Grenelle; i indique la position à la base du forage d'une colonne perdue en tôle de fer de 50 mètres de longueur et de 0,70 de diamètre, descendue pendant le travail pour tuber les argiles et les sables au-dessous de la colonne de bois et bronze il trouve un peu forte son épaisseur de 0,02, si on la compare à celle insuffisante de 5 à 6 m/m donnée à la première colonne de 1 mètre de diamètre qui devait maintenir les argiles supérieures à la craie. Il signale les chances de destruction auxquelles cette colonne en fer se trouve exposée suivant lui. Ce tubage a présenté certaines difficultés, mais n'a heureusement pas été entravé par la présence d'un trépan abandonné au fond du sondage et qui se sera jeté en dehors du forage.

M. Laurent explique ensuite que la diminution de volume de Grenelle, constatée après le jaillissement de la deuxième nappe de Passy, se justifie par ce qui s'est produit d'analogue sur d'autres points, et en donne des exemples.

Il considère que la différence entre la quantité de sable rejetée par les deux puits de Grenelle et de Passy, eu égard à leur rendement, provient de leur section et de la vitesse relativement moindre que doit avoir la nappe dans le puits de Passy. Il croit cette vitesse nécessaire pour dégager la nappe des parties argileuses et des sables fins qui l'obstruent et arriver à un régime régulier, et qu'il sera facile en élevant la colonne d'ascension de reconnaître si la vitesse acquise a également, ce qu'il suppose, une influence sur la force ascensionnelle des eaux.

Le fait établi par le puits de Grenelle, qu'on peut faire jaillir à Paris des eaux infiltrées au loin dans les sables verts, n'est pas contestable. Un deuxième affirmé par M. Kind, qu'en augmentant la section des forages comme il l'a fait le débit peut en être considérablement accru, n'est pas encore pour lui hors de doute, même après le résultat obtenu, et il faut attendre que l'expérience soit plus complète.

En ce qui concerne le rendement simultané de plusieurs puits atteignant la même nappe, ajoute M. Laurent, j'ai déjà donné des exemples de l'influence que des puits rapprochés pouvaient avoir les uns sur les autres surtout si l'un d'eux à son écoulement plus bas; on doit admettre qu'un puits malgré son grand diamètre ne doit donner passage qu'à une quantité d'eau limitée à sa surface filtrante, et l'expérience en sera fournie par le débit de Grenelle quand la nappe de Passy sera prise à un même niveau.

M. Laurent pense que, d'après l'épaisseur des sables verts reconnue à Passy et le nombre des nappes qu'ils y renferment, on doit à Paris, au centre du bassin, pouvoir en rechercher un assez grand nombre; il entre à ce sujet dans quelques détails sur le mode de formation des couches aquifères et les quantités d'eau variables qu'elles peuvent débiter sur différents points, suivant que leurs éléments peuvent laisser un passage plus ou moins libre à

l'eau. Il croit qu'il n'est possible, comme quelques personnes ont cherché à le faire, de calculer le volume d'eau contenu dans les sables verts et le temps qu'il faudrait pour les épuiser, qu'en tenant compte, ce qu'elles ont omis de faire, des modifications possibles et de l'inclinaison des couches et des écoulements naturels ou artificiels qui se produisent et dont une partie peut ne pas nous être connue.

M. Laurent critique ensuite l'état actuel du forage au point de vue de l'art du sondage et les conditions dans lesquelles l'administration municipale a traité avec M. Kind, rappelant que si l'entrepreneur a tenu largement ses promesses quant à la quantité d'eau obtenue, il n'a pas, d'un autre côté, exécuté ce travail, comme il l'avait promis, en une année et pour un prix maximum de 350,000 fr. Et que le prix de revient actuel d'un million indiqué par M. Dumas doit comprendre un chiffre plus élevé que celui prévu pour le coût du forage proprement dit, en en déduisant le coût des accidents réparés pour mettre à même M. Kind de poursuivre son travail.

Il espère que ce second succès encouragera la ville de Paris à faire forer de nouveaux puits, assurée qu'elle est de trouver des propositions semblables à celles de M. Kind, et même plus larges si elle le désire, et en tous cas de faire une bonne affaire, par le revenu qu'elle peut retirer de la vente des eaux.

Il regrette, dit-il en terminant, d'avoir eu à écrire ces lignes, mais il croit qu'il devait, pour l'industrie française, répondre à un reproche qu'on semblait lui faire de n'admettre que des dimensions insuffisantes et des outillages d'une infériorité reconnue par les savants et répudiés par la ville de Paris.

MM. Em. Barrault et Bertot exposent que le tube d'ascension du puits de Passy a été élevé au niveau de celui du puits de Grenelle, de sorte qu'il a été possible de comparer, ainsi que le désirait M. Laurent, les deux débits, pour une même hauteur d'ascension; le puits de Passy, d'après la note insérée au *Moniteur*, donnait 8,000 à 8,200 mètres cubes par 24 heures, soit 5,600 à 5,700 litres à la minute, et le puits de Grenelle dont le débit s'était abaissé à 420 litres par minute (604,8 mètres cubes par jour) est actuellement de 450 litres par minute (648 mètres cubes par jour). Le tube d'ascension prolongé du puits de Passy est en tôle, il a 40 centimètres de diamètre. Avant son établissement, le débit était de 16,700 mètres cubes par 24 heures.

M. Laurent a été surpris du volume d'eau considérable obtenu, et dans les propositions que M. Degousée et lui avaient faites à la ville de Paris, il y a une douzaine d'années déjà, ils ne calculaient pas sur un résultat semblable à celui du puits de Passy, qui fournit une nappe d'un débit tout à fait exceptionnel.

M. le Président résume les questions techniques que soulève la note de M. Laurent.

La première est dans l'influence du diamètre du tube sur le débit, et sur la supériorité que M. Laurent semble attribuer aux petits diamètres sur les grands.

La seconde question est celle des pressions auxquelles les tubes doivent être en état de résister.

La troisième est dans la possibilité d'altération du tube par suite de la présence, dans les argiles existant à la base de la craie, de pyrites de fer sulfuré.

La quatrième enfin, dans l'action exercée par le puits de Passy sur le régime du puits de Grenelle.

Il croit devoir mettre en dehors de la discussion toutes les questions que soulève le mode de construction du puits de Passy. Pour les discuter avec fruit, les lumières que pourrait apporter dans cette discussion quelqu'un des membres de la Commission, ou M. Kind lui-même, seraient indispensables. En ce qui concerne les appareils employés, l'installation lui en a paru très-remarquable ; mais, à part la chute de l'outil et l'usage des tiges en bois, il a reconnu, dans cette installation, la plus grande partie des procédés de l'art du sondeur tels que l'ont créé MM. Mulot, Degousée, Laurent et autres ingénieurs français.

Abordant la première question technique, il invite M. Laurent à expliquer la doctrine qu'il a posée sur la préférence à accorder aux petits diamètres sur les grands, pour la colonne ascensionnelle des eaux. Il semble que l'emploi des plus grands diamètres que permettent les procédés les plus habiles de sondage est d'autant plus rationnel, qu'à pression égale à la partie inférieure la vitesse augmentera avec le diamètre, puisque les frottements et la perte de charge qui en est la conséquence seront moindres ; qu'en outre, dans l'ignorance où l'on pouvait être du degré d'abondance des eaux ascendantes, il semblait naturel de préférer un grand diamètre à un petit, afin d'être en mesure de recueillir la plus grande abondance d'eau.

M. Laurent répond qu'il y a là une relation nécessaire entre la dépense et le produit à obtenir ; qu'en employant de forts diamètres, on risque de dépenser une somme considérable sans utilité relative ; qu'en effet la vitesse ascensionnelle n'est point en raison du diamètre de la conduite, mais du débit que la nappe peut fournir. Si ce débit est faible, la vitesse sera réduite dans les grands diamètres, alors l'accumulation des parties les plus ténues des sables, qui ne peuvent être enlevées que par une certaine vitesse d'ascension, encombrera la partie inférieure du tube et diminuera le débit.

M. Delesse, consulté par M. le Président, dit qu'il partage l'opinion de M. Laurent en ce qui concerne le débit des puits artésiens. Il est bien certain que deux puits forés à une petite distance l'un de l'autre ont quelquefois un débit très-inégal, lors même qu'ils atteignent la même nappe et qu'ils sont exécutés dans les mêmes conditions. De plus, lorsqu'on fait varier la section du puits artésien, le débit est loin d'être proportionnel à cette section. Il faut attribuer ce résultat à ce que la facilité avec laquelle la nappe souterraine peut filtrer à la base du puits artésien est extrêmement variable ; elle dépend, en effet, des interstices qui sont libres et, dans une même nappe aquifère, elle change pour des puits très-rapprochés. Des cir-

constances accidentelles, comme des engorgements produits par de l'argile et par des matières ténues, susceptibles d'être entraînées par l'eau, viennent encore influer sur la facilité de filtration et par suite sur le débit.

Maintenant il faut observer que le puits artésien de Passy n'est pas actuellement dans des conditions qui permettent de le comparer avec le puits de Grenelle. Car, dans ce dernier puits, M. Mulot a eu le soin de placer un tubage en cuivre qui est complétement étanche, depuis le haut jusqu'en bas ; tandis que pour le puits de Passy le tubage consiste en cylindres de bois qui sont ajustés l'un dans l'autre. Or, on comprend que les joints ne sont pas restés parfaits, que l'énorme pression à laquelle ces tubes sont soumis a dû y faire naître des fissures, que les eaux ont pu ronger les cercles de fer qui étaient destinés à les maintenir. C'est d'ailleurs ce qui résulte des variations que l'eau a éprouvées dans le puits de Passy au mois de juin dernier, après qu'on eût atteint la première nappe aquifère. La distance de cette eau au sol, qui était, à un certain moment, de 4 mètres, s'est élevée ensuite à 12 mètres; le niveau a donc baissé de 8 mètres, ce qui peut s'expliquer seulement par des pertes éprouvées par la colonne d'eau ascensionnelle ; et tout le monde comprend combien il est important que le tubage d'un puits artésien soit complétement étanche, pour que l'eau s'élève à la hauteur qu'elle peut atteindre.

M. DELESSE ajoute qu'il lui paraît désirable que la partie inférieure du puits de Passy soit tubée le plus promptement possible ; car cette partie restée libre est formée par une marne glauconieuse qui pourrait se resserrer un peu et réduire le diamètre du forage ou bien se délayer par l'eau et donner lieu à des éboulements, circonstances qui seraient de nature à diminuer le débit du puits artésien de Passy.

Revenant sur la dimension des tubes employés pour le puits de Passy, on fait observer que le débit de la nappe aquifère s'est montré, dès les premiers jours, tel qu'il justifie l'emploi des tubes de grands diamètres; *le Moniteur* a publié des chiffres donnés par la Commission, qui indiquaient un débit de 25,000 mètres cubes par 24 heures, l'écoulement ayant lieu au niveau du sol, le diamètre du tube étant alors de 70 centimètres à la base.

M. LAURENT répond que, quel qu'ait été ce débit, il est loin d'être en rapport avec la section que présente le tube comparé à celle du puits de Grenelle, en supposant, bien entendu, une hauteur égale de colonne ascensionnelle.

M. ARSON ne croit pas qu'on puisse séparer la couche filtrante de la conduite, lorsqu'on étudie le débit d'un puits artésien ; il faut tout d'abord, pour la réussite, que la couche filtrante ait un débit suffisant pour l'alimentation du puits ; et généralement on ne peut déterminer, *à priori*, ni l'abondance de la nappe, ni la nature du filtre.

M. LAURENT considère comme plus avantageux, et permettant d'espérer un résultat plus certain, le forage de deux puits que le forage d'un seul présentant une section équivalente à celle des deux autres. Pour le puits de Passy, il croit qu'un diamètre de 0,40 aurait suffi, ce n'est pas toujours la nappe souterraine la plus profonde qui donne le débit le plus considérable;

comme aussi les premières nappes n'ont pas une force ascensionnelle suffisante, ainsi la nappe qui alimente Grenelle et qui a été rencontrée au mois de juin dernier n'a pu se maintenir à plus de 13 mètres au-dessous du niveau du sol dans le puits de Passy.

On rappelle que, dans les différents forages exécutés par MM. Flachat frères à Saint-Ouen et à Saint-Denis, ils avaient réussi à maintenir le débit de la colonne ascendante en lui ouvrant, la nuit, un écoulement inférieur qui n'avait jamais cessé d'amener des sables à la surface; qu'en négligeant cette précaution, le débit a constamment diminué jusqu'à s'éteindre. Précaution, observe M. Laurent, qui justifie ce que nous avons dit de la nécessité d'une vitesse ascensionnelle plus grande et capable de pouvoir désensabler la nappe, et que MM. Flachat obtenaient en ouvrant un orifice d'écoulement plus bas. On demande en ce qui concerne l'épaisseur à donner aux tubes, si l'on peut considérer la colonne ascensionnelle comme n'étant point absolument isolée des eaux extérieures de sorte que la pression vers sa base ne serait que la différence entre le niveau des eaux extérieures et celui de l'écoulement de la nappe aquifère, ou bien, si la colonne ascendante est isolée et si dans ce cas elle doit résister à la pression résultant de la hauteur totale de la colonne d'ascension.

On fait observer qu'il y a lieu de conclure du relèvement des eaux dans les puits du voisinage depuis qu'une nappe aquifère a été atteinte qu'il y a communication entre l'intérieur et l'extérieur de la colonne, soit à sa base soit dans ses différentes parties, et qu'en conséquence la pression à la base ne doit pas dépasser celle qui résulte de la différence de niveau entre les eaux extérieures et intérieures.

M. Laurent croit que, lorsque la colonne ascensionnelle est étanche par elle-même, il est facile de l'isoler à sa base des eaux extérieures par de l'argile, et de préférence par du béton, mais ordinairement les pressions à l'intérieur et à l'extérieur s'équilibrent assez pour qu'il suffise de donner aux colonnes ascensionnelles en cuivre rouge une épaisseur très-faible.

On fait remarquer que dès à présent, en supposant la colonne ascensionnelle étanche, la différence du niveau entre les eaux intérieures et extérieures dépasse 30 mètres, et qu'en conséquence la pression minimum à la base en un point quelconque de la conduite au-dessous du niveau extérieur jusqu'à la base est de trois atmosphères; que cette pression suffirait pour expliquer le filtrage d'une certaine quantité d'eau à l'extérieur; et que cette simple filtration suffirait pour maintenir la pression des eaux extérieures.

En ce qui concerne l'épaisseur à donner aux tubes, M. Laurent reconnaît qu'en effet, pour la partie du tube qui est dans la craie et dans les sables verts, il n'y a pas de danger d'écrasement, mais le danger se trouve au passage des argiles plastiques à la partie supérieure. Ces argiles au contact de l'eau se gonflent et viennent écraser le tube s'il n'est pas suffisamment résistant, il faut que le travail se fasse assez vite pour que cet effet n'ait pas lieu pendant la descente du tube, à laquelle on ne doit procéder du reste qu'après avoir laissé cet effet se produire et avoir foré les argiles à

nouveau. S'il se produit, l'on rencontre les plus graves difficultés soit pour enfoncer le tube plus profondément, soit pour le retirer.

M. Bertot propose de donner à la colonne une forme ascensionnelle, analogue à celle des jets d'eaux s'épanouissant de la base vers le sommet, et qu'il considère comme propre à donner le plus grand débit relatif. Il se propose de donner des explications sur ce point dans une prochaine séance.

M. le Président invite M. Laurent et les membres de la Société à suivre les faits d'expérience qui ne manqueront pas de se produire d'ici à quelques semaines dans le forage de Passy. Il croit qu'il est juste d'adresser des félicitations à M. Kind pour le beau succès de ce travail qui marque dans l'art du sondage un pas nouveau, et à la réussite duquel la commission nommée par la ville de Paris doit être associée.

La discussion de cet intéressant travail sera reprise au retour de M. Laurent.

SÉANCE DU 22 NOVEMBRE 1861

Présidence de M. Eugène Flachat.

M. le Président donne lecture d'une lettre, par laquelle M. E. Vuignier demande que la communication à l'ordre du jour, sur les inondations souterraines des quartiers nord de Paris, soit renvoyée à une autre séance, parce qu'une instance en réglement d'indemnité est engagée devant le Conseil d'Etat, entre la ville de Paris, la Compagnie du canal et les propriétaires.

M. le Président rappelle qu'en 1857 M. Vuignier avait fait à la Société une communication sur le même sujet; quoiqu'il y eut déjà une instance engagée, ce précédent ne lui paraît pas devoir être invoqué pour justifier l'opportunité de la discussion.

D'un autre côté, M. Yvert a indiqué qu'il voulait seulement présenter, au point de vue technique, l'ensemble des opinions qui se sont produites, sans appeler la discussion sur ces opinions.

Dans cette situation, M. le Président croit devoir consulter l'Assemblée sur l'ordre du jour.

L'Assemblée décide que la communication sera ajournée.

M. Verrine donne lecture d'une note sur les causes de l'accident arrivé au *Great-Eastern*. Il rappelle l'immense et pénible sensation produite par la nouvelle de l'accident du *Great-Eastern* dans la tempête qui l'assaillit dans l'Atlantique, en septembre dernier. — Il dit la sympathie avec laquelle l'opinion publique s'associa aux plaintes et aux reproches que les passagers adressèrent à la Compagnie. Mais cet accident semble avoir des conséquences bien plus facheuses que quelques contusions sans gravité, une perte matérielle de 3 ou 400 mille francs, et le discrédit momentané d'un navire; il

fait tomber l'enthousiasme qui avait accueilli cette belle innovation; il fait perdre la confiance que le public et le Gouvernement anglais avaient dans ce navire; et il est fatal à l'art des constructions navales, en ce sens qu'il en retarde les progrès et qu'il semble donner raison à ceux qui par intérêt ou par conviction cherchent à prouver que les petits navires se comportent mieux à la mer que les grands. Il convient donc d'examiner impartialement l'accident et ses causes et de voir si elles tiennent au principe lui-même de construction du navire.

M. Verrine résume les différentes versions qui ont cours sur les circonstances dans lesquelles l'accident s'est produit. Suivant les uns, pendant une manœuvre commandée dans le but de faire tête à la lame afin d'éviter un roulis fatigant, la roue de babord aurait cédé et sa charpente se serait pour ainsi dire enroulée autour de l'arbre. Un grand nombre de matelots auraient été alors attelés au gouvernail, mais l'effort exercé sur celui-ci devint si grand que son arbre se rompit entre le pignon et le support supérieur. Enfin, et toujours dans l'exécution de la même manœuvre, la seconde roue aurait été emportée. Suivant d'autres, les roues auraient été faussées au point de ne pouvoir plus servir, pendant un temps d'arrêt des machines, et le gouvernail se serait brisé dans un effort surhumain fait pour mettre le navire vent devant et le soustraire à un roulis intolérable. Mais cet accident en lui-même n'est pas un fait unique et spécial au *Great-Eastern* lui-même. Beaucoup d'autres navires avant lui en ont été victimes. On cite des exemples. C'est, en ce qui concerne les roues, le résultat de la faiblesse de leurs parties; en ce qui concerne le gouvernail, soit d'une maladresse dans la manœuvre, soit d'un défaut dans l'arbre, soit peut-être enfin d'un diamètre insuffisant pour les efforts qu'il pouvait avoir à vaincre. Mais il n'y a aucune espèce de solidarité entre cet accident et les grandes dimensions elles-mêmes du navire. D'ailleurs les machines de l'hélice et des roues n'ont pas subi la plus légère avarie; la coque a résisté admirablement dans cette lutte si longue, aucune déformation ne s'est produite et elle est restée complétement étanche.

Quant au roulis qui à lui seul constitua un désastre, il était inévitable, puisque le navire privé de tout moyen de direction devait être forcément pris par le travers. Il devait être plus considérable et plus fatigant pour le *Great-Eastern* que pour tout autre, à cause de la grande largeur de ce navire, et parce que la durée de son oscillation est faible relativement à sa largeur. Mais il y a certainement de l'exagération dans les chiffres donnés par les passagers, et celui de 45° pour l'angle d'inclinaison semble inadmissible. Quoi qu'il en soit, le *Great-Eastern* s'est constamment relevé, même après les plus fortes inclinaisons, ce qui prouverait que sa stabilité était parfaitement suffisante et qu'en outre l'arrimage des grosses pièces était irréprochable, puisque, si quelques poids un peu considérables s'étaient déplacés dans le roulis, le navire ne se serait pas relevé complétement. .

M. Verrine critique l'absence de quille dans le *Great-Eastern* et rappelle les avantages de cette partie du navire au point de vue de la diminution de l'amplitude du roulis et de sa durée. Quant à la disproportion entre la hauteur des

murailles au-dessus de la flottaison et le tirant d'eau, dans laquelle plusieurs personnes semblent voir la cause de la tendance du navire au roulis, elle est le résultat forcé d'une grande largeur. Il faut en effet, à mesure qu'on augmente la largeur, relever le centre de gravité pour augmenter la durée de l'oscillation et rendre le roulis moins sec et moins fatigant. Cette hauteur a en outre l'avantage de mettre le pont du navire au-dessus des plus hautes vagues et de faire travailler la matière dans les conditions les plus économiques.

M. Verrine termine par des considérations théoriques qu'il emprunte à un travail que M. Eugène Flachat rédige en ce moment sur les conditions de stabilité du *Great-Eastern*, sur la durée de ses oscillations, et sur les avantages à tous les points de vue des grands navires sur les petits.

On fait remarquer l'intérêt qui s'attache à la communication de M. Verrine, sur le *Great-Eastern;* on a toujours dit que ce navire était trop large pour son tirant d'eau et que, comme on ne pouvait augmenter ce dernier élément à moins de se fermer tous les ports, il fallait renoncer pour l'avenir à de tels navires. M. Verrine a démontré que l'effet de la grande largeur était d'augmenter, dans le roulis, la vitesse d'oscillation vers les points extrêmes. Il faut en effet bien distinguer la stabilité du navire, c'est-à-dire sa disposition à se tenir droit par rapport au plan d'eau, de la propriété d'affecter dans le roulis des oscillations lentes; ces deux propriétés dépendent de la position relative du méta-centre et du centre de gravité. On avait attribué d'abord, au *Great-Eastern*, une indifférence absolue à l'agitation de la mer, soit par le roulis, soit par le tangage. Il n'en a pas été ainsi, dès que le navire a rencontré les grandes lames de l'Atlantique soulevées par la tempête. La hauteur maxima des vagues, dans ces mers, varie de 13 à 15 mètres, et leur longueur de 120 à 150 mètres, avec une vitesse de propagation de 12 à 15 mètres par seconde; dans ce cas, une grande vague a donc une durée d'oscillation de 13 à 14 secondes; celle du *Great-Eastern* étant de 5″ à 5″5, il suffisait que ce navire fût pris par le travers par des vagues beaucoup moins hautes que celles-ci, pour qu'il se produisît une espèce de synchronisme entre les deux oscillations des vagues et du navire. Dans ce cas, le navire devait prendre une inclinaison au moins égale à celle des plans d'eau de la vague. Le grand navire obéissait alors au roulis comme un autre de moindres dimensions, de plus il y obéissait dans des conditions désavantageuses. Entre l'écueil d'une extrême stabilité due à sa largeur ainsi qu'à la facilité d'abaisser le centre de gravité qui aurait rendu son roulis vif, sec et dur en réduisant la durée de l'oscillation, et l'écueil d'une oscillation lente qui donne un roulis doux mais à grande amplitude, qui ne peut être obtenu dans un navire relativement plat que par l'élévation du centre de gravité, il semble que les constructeurs avaient cherché une moyenne que l'expérience n'a pas réussi à déterminer.

Le danger le plus sérieux qu'il y ait à craindre pour un navire existe lorsque, pris par le travers, la durée de ses oscillations de roulis coïncide avec celle de l'ondulation des vagues. Le roulis prend alors son maximum d'in-

tensité, parce que chaque vague en passant sous le navire accroît la somme de force vive que développe celui-ci dans chacune de ses oscillations et leur donne plus d'amplitude. Si sa stabilité n'est pas alors suffisante, il peut être culbuté. Il y a des navires qui sont dans ce cas; ainsi la perte du gouvernail, qui enlève au navire la faculté de faire tête à la lame ou de la prendre suivant l'angle nécessaire pour échapper aux conséquences de la coincidence de l'ondulation et de l'oscillation, entraîne-t-elle quelquefois la perte du navire. Cette fois le *Great-Eastern* a parfaitement résisté et sa stabilité a été mise ainsi à l'épreuve, mais ses oscillations de roulis ont été dures, vives et amples; il reste à savoir si la mer qu'il a rencontrée était la plus mauvaise à laquelle il peut être exposé. Pour être à l'abri de graves éventualités à cet égard, il semble préférable d'abaisser le centre de gravité dans ce navire, en sacrifiant la douceur des oscillations. Celles-ci seront plus fréquentes et plus courtes, mais moins amples; or, dans un navire large comme le *Great-Eastern*, il est facile d'abaisser le centre de gravité, il lui restera toujours l'inconvénient de ne pouvoir obtenir, sans diminuer sa stabilité, une lenteur d'oscillation d'autant plus précieuse qu'elle donne aux navires de grandes dimensions plus d'indifférence à l'agitation de la mer.

M. Thomas croit, contrairement à l'opinion émise par M. Verrine, que l'un des accidents du *Great-Eastern*, la rupture des roues, ne serait peut-être pas arrivé à un navire n'ayant pas des dimensions aussi considérables; cette rupture des roues avait même été prévue par plusieurs ingénieurs, pendant la construction. Le navire, en effet, n'obéissant presque pas au choc des vagues, tant sur les roues que sur la coque, par suite de sa grande inertie, les roues se trouvent dans un repos relatif par rapport à la lame : le bâtiment ne participant pas à l'effort de la vague, n'atténuant nullement cet effort, par conséquent, elles le supportent en entier, et risquent de ne pas résister, quelle que soit d'ailleurs la solidité de leur mode de construction : et même, si les roues étaient très-rigides, la rupture serait plus grave, parce qu'aucune résistance ne saurait être opposée efficacement à certaine vague frappant contre un corps offrant beaucoup de surface et pour ainsi dire en repos, comme le sont les roues d'un navire n'obéissant pas lui-même à l'effet de cette vague. Il faudrait donc ou renoncer à ce mode de propulsion ou chercher à mieux l'approprier à la masse du bâtiment.

M. Callon répond qu'il y avait des raisons suffisantes, lesquelles ont été indiquées par Brunel, pour appliquer au *Great-Eastern* les deux espèces de propulsions. Il ne voit pas d'ailleurs que l'accident arrivé aux roues soit la condamnation du système; l'avarie n'a pas été plus grave que celle qui se fût produite sur un navire de dimensions ordinaires, elle a même été moins grave, puisque le navire a pu se sauver avec son hélice. Quant à l'observation de M. Thomas, il n'y voit pas une démonstration de l'impossibilité d'employer les roues comme propulseurs des navires de la dimension du *Great-Eastern*, mais seulement une considération dont on peut tenir compte; il ne s'agit que de savoir quel sera l'effet de la vague relativement aux dimensions de la coque.

On rappelle qu'en effet les roues ont été, dès l'origine, l'objet de nombreuses critiques, mais seulement en ce qui concerne leur mode de construction; leur position en porte à faux sur l'arbre ne permettait de les supporter, malgré leur grande largeur, que par deux tourteaux très-rapprochés. Néanmoins elles avaient résisté pendant six traversées, et l'accident ne s'est produit que par suite d'un roulis et d'une manœuvre tout à fait exceptionnels, lorsque, par suite de la rupture de l'arbre du gouvernail, le navire se trouvait abandonné par le travers à l'action des vagues. D'ailleurs, des accidents semblables ont eu lieu fréquemment sur des navires de dimensions ordinaires. La principale raison de la combinaison des moteurs a été d'assurer la vitesse; l'hélice est moins exposée aux accidents que les roues, mais, dans les mers agitées, le recul de l'hélice est très-considérable; les roues, au contraire, peuvent être ralenties par les mauvais temps, mais comme leur recul est à peu près constant quelque temps qu'il fasse, le navire conserve sa marche si la machine est assez forte pour mener les roues à leur vitesse régulière.

Quant à l'observation de M. Thomas, on se demande si, à roulis égal, un navire ayant des parois de 6^m00 hors l'eau expose beaucoup moins sa roue qu'un navire dont les parois s'élèvent à 10^m hors l'eau, comme le ***Great-Eastern***; il n'y a ici qu'une question d'intensité de choc; or on ne peut admettre qu'à égale vitesse d'oscillation des parois de deux navires l'action de la vague soit différente pour les roues. Les roues s'élevant et plongeant dans la mer subissent des effets d'autant plus grands qu'elles sont, dans le roulis, animées d'une vitesse plus grande, et que la vitesse d'ascension de la vague est aussi plus forte; mais la hauteur des parois du navire n'apporte et n'ôte rien à ces effets. Les roues du ***Great-Eastern*** ont dû éprouver une fatigue exceptionnelle à cause de l'extrême vitesse dont les parois du navire étaient animées par le roulis. La largeur du navire étant de 25^m50 et avec les roues de 35 mètres environ, il en résulte que, dans une oscillation de 25° durant 5 secondes, l'arc décrit était de 7^m30; ce qui fait une vitesse de 1^m40 par seconde.

M. Thomas fait remarquer que, si déjà il a été bien difficile jusqu'ici de faire des roues assez résistantes pour des navires de dimensions ordinaires obéissant plus ou moins, et dans tous les cas bien plus, aux efforts des vagues, tant sur les palettes que sur les flancs, il est à craindre que les roues d'un navire semblable au ***Great-Eastern*** soient balayées plus fréquemment. C'est probablement dans la flexibilité des roues, dont on prend déjà la précaution de faire les palettes en bois, qu'il conviendrait de chercher la solution du problème ou bien dans de moindres dimensions relativement à la masse du navire.

On répond qu'il ne faut pas s'exagérer l'intensité du choc des vagues, il n'y a aucune analogie entre la vitesse de propagation des ondulations des vagues dans les mers profondes et la vitesse de translation des vagues sur le littoral. Si l'intensité du choc était proportionnelle à la vitesse de propagation de l'ondulation, il n'y aurait pas de navire qui pût y résister. On a donc été conduit à considérer deux espèces de vagues; celles de trans-

lation, dont le mascaret est la dernière expression et est causé par le relèvement du fond d'eau sur le littoral, et les vagues ou simple ondulation de la pleine mer dont la vitesse de translation serait très-faible. Dans le mouvement oscillatoire vertical dont les particules d'eau sont animées, il n'y a de choc entre elles et le navire que ceux qui résultent de la vitesse propre dont les différentes parties de celui-ci sont animées soit par sa marche même, soit dans les oscillations du roulis. De là, l'utilité d'une grande lenteur d'oscillation dans les grands navires, qui est très-difficile à obtenir lorsque le tirant d'eau n'a pas avec la largeur du navire de justes proportions.

M. Dubied est d'avis que la disposition des tourteaux des roues n'a pu avoir que peu d'influence sur leur résistance. Il pense d'ailleurs qu'il convient de ne donner aux roues qu'un petit nombre de pales pour diminuer l'action des vagues; il cite ce fait qu'un navire construit pour la navigation fluviale a parfaitement résisté aux coups de mer de la Méditerrannée avec des roues très-faibles.

M. Gaudry dit que les dimensions des roues du *Great Eastern* ne seraient pas excessives relativement à celles d'autres steamers et en particulier du *Van der Bilt*. Il pense qu'une des raisons de l'emploi des roues avait été de faciliter les manœuvres en découplant les machines.

M. Thomas ajoute que les roues du *Great Eastern* dépassent très-sensiblement en diamètre et largeur celles du *Van der Bilt*; qu'elles offrent par conséquent bien plus de prise à l'action des vagues, action rendue encore plus active par l'inertie autrement considérable du *Great Eastern*. La résistance, ou plustôt l'absence de rupture, des roues très-faibles du bâtiment cité par M. Dubied, bâtiment lui-même très-léger et très-flexible, vient à l'appui de son opinion sur l'accident survenu aux roues du *Great Eastern*, dont les qualités sont complétement différentes.

M. Dubied ajoute, que, pendant les coups de mer la vitesse relative verticale de l'eau et des pales est telle que les tambours qui recouvrent les roues sont souvent emportés. Il en résulte, que lorsque les pales sont subitement noyées dans un courant d'eau ascentionnel, la somme des efforts tendant à briser les rayons des roues est d'autant plus grande que ces roues elles-mêmes ont un plus grand nombre de pales et que la surface de chaque pale est plus considérable. — C'est pourquoi il est à supposer qu'il doit y avoir une limite à la dimension des roues, limite qui a peut être été dépassée dans le *Great-Eastern*. Le fait cité de la résistance aux coups de mer de roues légères avec pales à faible surface, naviguant dans la Méditerrannée, semble appuyer cette opinion.

MM. Saillard et Vinchent ont été reçus membres de la Société.

SÉANCE DU 6 DECEMBRE 1861

Présidence de M. Eugène Flachat

La parole est donnée à M. Guillaume conformément à l'ordre du jour pour rendre compte d'un ouvrage de MM. Vuigner et Fleur-Saint-Denis sur les travaux de fondation du pont de Kehl, exécutés d'après les projets et sous la direction de ces ingénieurs.

Il appelle l'attention de la Société sur l'intérêt qui s'attache à cette publication, non-seulement en ce qui concerne l'œuvre remarquable décrite dans l'ouvrage, mais encore au point de vue des applications que pourra recevoir le nouveau procédé de fondations par caissons. Déjà, les dispositions employées au pont de Kehl sont imitées pour la construction du pont de La Voulte, sur le Rhône. L'une de ces dispositions, celle qui consiste à employer le poids de la maçonnerie pour vaincre l'effet de la sous-pression, peut même être utilisée dans le fonçage des tubes ordinaires, comme on peut le voir, en ce moment, au pont d'Argenteuil. M. Vuigner, à qui l'on doit le texte de l'ouvrage, compare d'abord les divers systèmes de fondation qui pouvaient être employés pour le pont de Kehl, et il donne les motifs de la préférence accordée aux caissons en se basant principalement sur la nature éminemment affouillable du lit du fleuve et sur les exigences du programme arrêté d'avance par les gouvernements français et badois ; ces motifs ont été assez puissants pour que les ingénieurs qui assumaient la responsabilité des travaux aient cru devoir s'écarter des termes de ce même programme, lequel avait prescrit, pour les piles intermédiaires, en rivière, l'emploi du système de fondation tubulaire ordinaire.

Les parois planes des caissons en tôle devaient être soumises à des pressions considérables qu'il n'était pas possible d'évaluer même approximativement; on les a consolidées par de fortes nervures à double T reliées entre elles au moyen de petites voûtes en briques et ciment; néanmoins, l'un des caissons a éprouvé une légère déformation.

L'historique du fonçage, pile par pile, montre avec quelle régularité a eu lieu cette opération ; il donne en même temps la mesure de la mobilité du lit du Rhin, par ce fait remarquable que le cube de gravier extrait de l'intérieur des caissons a dépassé de beaucoup le volume déplacé par la fondation.

La superstructure du pont a été exécutée par des ingénieurs badois; elle se compose de trois travées fixes de $56^{m},00$ d'ouverture avec poutres en treillis dont la disposition ne présente rien de particulier, et de deux ponts tournants assez remarquables, au contraire, pour leurs dimensions et leur parfaite exécution ; chacun de ces ponts, laissant un passage libre

de 26m,00, a une longueur totale de 60m,00, et tourne autour d'un pivot placé à égale distance des deux extrémités ; il peut être manœuvré par deux hommes, bien que son poids atteigne 350,000 kil. C'est dans l'usine française de Graffenstaden qu'a été exécutée cette partie du tablier.

La dépense d'établissement du pont du Rhin s'élève à 7 millions, dont 5,250,000 fr. pour les travaux de fondation et les travaux préparatoires, et 1,750,000 pour la superstructure.

L'élévation de ce chiffre doit être attribuée, en dehors des difficultés exceptionnelles de l'entreprise, aux conditions particulières imposées par le programme arrêté par les deux gouvernements. Ainsi, si l'on avait pu se dispenser d'établir les deux ponts tournants, on n'aurait eu à établir que deux piles en rivière au lieu de quatre, parce qu'il eût été facile de répartir sur les travées fixes le débouché des travées mobiles ; on aurait en même temps évité la dépense des tabliers des ponts tournants et d'une partie des culées dont les dimensions eussent pu être considérablement réduites. M. Vuigner estime que le montant total des travaux eût été alors réduit à 4,250,000.

En terminant ce rapide exposé, M. Guillaume fait remarquer le soin avec lequel a été édité l'ouvrage de MM. Vuigner et Fleur-Saint-Denis, et le degré d'utilité que présentent, pour les ingénieurs, les planches de l'atlas qui reproduisent, avec de nombreuses cotes, tous les détails du pont et des appareils spéciaux ayant servi à l'exécution.

M. le Président désirait mettre à l'ordre du jour de la séance trois communications qui lui avaient été promises; l'une de M. Guillaume, relative au pont de Kehl, la deuxième de M. Yvan Flachat, relative au pont Victoria sur le Saint-Laurent, la troisième de M. Eiffel, relative au nouveau pont construit à Bordeaux sur la Garonne.

Enfin le procès-verbal des épreuves de différents ponts métalliques à grande portée en poutres pleines et évidées.

MM. Guillaume et Ivan Flachat ont seuls pu donner leur travail pour cette séance; M. Eiffel n'a pas envoyé la note qu'il a préparée, mais il la promet sous peu de jours.

De plus, l'absence des ingénieurs qui ont concouru à l'exécution de ces ponts ne permet pas de commencer aujourd'hui la discussion sur la comparaison des différents systèmes adoptés.

Le pont de Kehl en particulier a été l'objet de quelques critiques, mais comme le font remarquer MM. Ivan Flachat et Guillaume, toutes ne doivent pas s'adresser aux ingénieurs chargés des travaux, la commission internationale avait réglé les dispositions générales, telles que l'emploi du treillis, l'égalité des arches, l'exécution des ponts tournants, toutes causes qui ont élevé considérablement la dépense.

On rappelle aussi qu'au lieu de faire varier les épaisseurs de fer dans la partie métallique (superstructure), comme cela se fait généralement en France, les ingénieurs badois ont donné partout la section résultant du calcul de la partie la plus fatiguée.

M. Ivan Flachat présente ensuite l'analyse de l'ouvrage publié à Lon-

dres, par M. James Hodges, ingénieur de MM. Peto, Brassey et Betts, sur la construction du grand pont Victoria, sur le fleuve Saint-Laurent, près Montréal, dont il a dirigé les travaux pour le compte de ces entrepreneurs.

Ce pont fait partie du réseau, « Great Trunk of Canada, » qui supplée à l'insuffisance du Saint-Laurent, pendant l'époque où ce fleuve cesse d'être navigable. Sous le climat de ce pays, la température passe chaque année d'un extrême à l'autre, la glace interrompt pendant six mois la navigation, et en été la profondeur des eaux n'étant pas uniforme oblige à des transbordements.

Il était du plus haut intérêt, et cela était reconnu depuis 1846, que le *Great Trunk*, qui effectuait les transports sans transbordement dans toutes les saisons, mais qui ne desservait qu'une des rives du fleuve et qu'un côté des lacs, fût mis en communication avec l'autre rive. En effet, entre l'extrémité du lac Supérieur et l'Océan, sur plus de 2,400 kilomètres, il n'y avait qu'un pont suspendu, à la gorge du Niagara; encore sa construction économique ne permettait le passage des trains qu'à une faible vitesse, et en petit nombre.

La construction du pont de Montréal fut donc décidée aussitôt qu'elle fut reconnue praticable pour un pont tubulaire en tôle à une voie. Mais les difficultés étaient considérables, et tenaient tout à la fois aux dimensions à donner à cet ouvrage, et aux conditions physiques et climatériques dans lesquelles il devait être exécuté.

La longueur totale du pont est de 2,780 mètres, celle des tubes de 2,006 mètres. Le nombre des travées est de 25, dont 24 de 73^{m},50 à 75^{m} de portée, et une travée centrale de 100 mètres. Le tube est posé suivant une rampe et une pente de 7 m/m par mètre, ayant leur sommet au milieu de sa longueur; il est composé de parties indépendantes. Le poids total du métal employé est de 9,044 tonnes; ce qui correspond à 4,500 kilogrammes par mètre courant de pont à simple voie. Ce poids par mètre descend même à 4,000 kilogr. si on déduit la quantité de métal employé dans la voie et dans les piles, pour les appareils de roulement et les crampons qui joignent entre elles les pierres de taille.

Les piles sont au nombre de 24; chacune d'elles porte un brise-glace. Leurs dimensions sont de 27 m. sur 5^{m},500 au niveau des basses eaux d'été, et de 10 m. sur 5 m. au niveau inférieur des tubes. Les deux piles qui supportent la travée centrale ont une largeur de 8^{m},500, au niveau des basses eaux et de 7^{m},250 au niveau des tubes. Toutes ces piles ont été composées de pierres de dimensions exceptionnelles; chacune d'elles pesant de 5,000 à 20,000 kilogr. La maçonnerie employée dans les piles et les culées s'élève à 76,510 mètres cubes. La charpente des ouvrages provisoires a absorbé près de 65,000 mètres cubes de bois.

La hauteur de la surface inférieure de la travée du milieu, au dessus du niveau de l'eau, est de 18^{m},250; celle correspondante vers les culées est de 11^{m},000.

Les épreuves ont été faites à raison d'une tonne par pied courant de pont; ce qui est un peu moins que les réglements l'exigent en France pour

les ouvrages analogues; sous cette charge, le métal ne travaillait pas à la traction à plus de $7^k,750$ par millimètre de section, et à la compression, à plus de $6^k,200$.

Les projets ont été dressés par M. Alexandre Ross, ingénieur de la Compagnie du chemin de fer, et Robert Stephenson.

Le fleuve lui-même opposait aux constructeurs une nature de difficultés contre lesquelles les ingénieurs d'Europe ont peu d'occasions de lutter. La vitesse moyenne du courant est de 7 milles ou 11,265 mètres à l'heure, c'est-à-dire de $3^m,130$ environ par seconde, et s'élève quelquefois au-delà de 8 milles à l'heure, près de 13 kilomètres. Il charrie des cailloux roulés de dimensions gigantesques, et dont le poids atteint vingt tonneaux. En outre, deux fois par an, à la fin de décembre et à la fin de mars, survient une débâcle de glace contre laquelle aucun ouvrage provisoire ne peut résister. Aussi, les travaux ont-ils dû être conduits de manière à retirer du lit de la rivière, avant la première débâcle de chaque année, tous les bois et tous les appareils dont on s'était servi pendant la belle saison. Pour diverses causes, cette précaution n'a pas été prise d'une manière absolue, et cette circonstance a occasionné, plus d'une fois, pendant le cours des travaux, des pertes considérables. Le lit de la rivière était, du reste, presque partout de la meilleure qualité; le roc solide se trouvait au maximum sous une épaisseur de $3^m,500$ à $4^m,200$ de cailloux roulés de toutes dimensions, on éprouvait quelques difficultés pour assurer l'étanchéité dans les bâtardeaux; mais une fois la fondation assise, la maçonnerie s'élevait rapidement et avec sécurité. Les fondations furent faites d'abord au moyen de caissons flottants, puis de «cribworks» (mode de construction spécial à toute l'Amérique, et consistant en blocs de charpente et de pierres que l'on fait échouer en ordre autour de l'emplacement destiné aux bâtardeaux), puis enfin d'un mélange de ces deux modes de fondation. — M. Hodges décrit avec détails les difficultés éprouvées à chacune des piles, et à chacune des travées, pendant chacune des six années qu'a exigées l'achèvement de ce grand travail.

Pour presser l'achèvement des travaux, la partie métallique fut expédiée d'Angleterre, toute préparée au fur et à mesure, et avec une exactitude si parfaite que pas un seul trou ne fut percé mal à propos. On fut forcé de travailler à l'assemblage des toles, dans les deux dernières années, et pendant les froids rigoureux de l'hiver. Le thermomètre est descendu, pendant ce temps jusqu'à — 38° centigrades. Les ouvriers avaient les mains et le visage enveloppés, et des précautions spéciales durent être prises pour éviter que les mains, les pieds, le nez ou les oreilles ne fussent gelés, ce qui aurait occasionné la perte du membre ainsi atteint par le froid. Le nombre des accidents fut ainsi très-limité, et sur 3,040 hommes employés pendant les six années, il n'y en eut que 26 de tués, la plupart noyés; les froids causèrent moins d'accidents que les chaleurs de l'été.

Plusieurs appareils très-ingénieux, et exécutés grossièrement avec les ressources de la localité pour suppléer à des machines exécutées avec soin et dépense, en Angleterre, mais bientôt après leur arrivée disloquées et

mises hors de service, sont décrits par M. Hodges, et gravés dans l'album qui accompagne son ouvrage.

M. Ivan Flachat cite notamment la description des « cribworks », la grue roulante de M. Chaffey portant 20 tonnes, plusieurs modèles de chèvres, un « voyageur » pour la peinture du pont, au moyen duquel 488^{h}.87,76 mètres carrés furent peints en cinq semaines, et le « turnwater » au moyen duquel on modérait le courant du fleuve en amont de l'emplacement d'une pile, pour échouer avec plus d'exactitude et de facilité les caissons ou « cribworks » nécessaires à ses fondations.

Les tubes de 5^{m},500 à 6^{m},600 de hauteur, et de 4^{m},800 de largeur intérieure, pour une voie de 1^{m},700 environ, furent recouverts de ferblanc pour les protéger contre la pluie. Leurs parois furent percées de trous de distance en distance, pour y faire pénétrer un peu de lumière.

Enfin, les travaux préliminaires par lesquels on détermina l'emplacement exact des piles au moyen des pieux en fer introduits dans le lit du fleuve, à travers des trous dans une couche de glace de un mètre environ d'épaisseur, ayant eu lieu dans l'hiver 1853-1854, au moment où toute la surface de la glace offrait l'aspect d'une route sur la terre ferme; le premier caisson fut immergé le 24 mai 1854; la première pierre, posée le 20 juillet suivant; et le premier train passa le 17 décembre 1859, en même temps que la débâcle emportait les derniers ouvrages provisoires en charpente qui n'avaient pu être enlevés assez tôt.

La construction de ce pont exigea l'emploi de 75 bateaux pontés contenant ensemble 1,200 tonnes, sur lesquels les pierres de taille descendaient le courant du fleuve depuis « Pointe Claire, » à 25 kilomètres en amont de Montréal, à travers les rapides de « Lachine; » et qui y remontaient à vide, remorqués par 6 bateaux à vapeur construits à cet effet et ayant ensemble 450 chevaux de force. Outre les 3,040 hommes cités plus haut, on employa 144 chevaux et 4 machines locomotives.

Un membre demande quelques indications sur le prix de cet ouvrage.

M. Ivan Flachat dit qu'il a cherché vainement dans l'ouvrage de M. Hodges quelques indications sur le prix de revient du bois, de la pierre, etc., et de l'ouvrage terminé. Il a seulement pu voir que la main d'œuvre est moins chère qu'en Angleterre, et que les premiers devis portaient le prix de la construction à 35,000,000 de fr. dont cinq millions pour les abords, dix millions pour les tubes et vingt pour les piles; mais, plusieurs échecs ayant été éprouvés pendant les travaux, il croit qu'on est en droit de supposer que le prix total n'a pas été moindre de 40 millions.

M. Ivan Flachat répondant à des questions qui lui sont adressées par différents membres fait observer que les maçonneries étaient exécutées en été et qu'en ce qui concerne la dilatation M. Hodges indique, en parlant du travail de la deuxième année, que les tubes étaient réunis sur les piles de manière à former poutre continue, mais que les tôles formant parois verticales ne se joignaient pas, et enfin que les épreuves des ponts ont été faites à raison de 3,000 livres par pied courant.

On fait remarquer que Stephenson ne s'est jamais prononcé bien nette-

ment sur les conséquences qu'il entrevoyait par suite de la dilatation et de la contraction; la dilatation produit sur les poutres un effort de compression. Cet effort a été évalué à 2 kilog. par millimètre carré, pour les rails qui étaient en contact sur une certaine étendue; effort insuffisant pour soulever une voie bien couverte de ballast; il semble donc possible de disposer les ponts de manière à ce que les frottements sur les points d'appui ne dépassent pas l'effort que le pont peut supporter sans déformation, et les points d'appui sans déplacement. Ce calcul conduit à négliger l'emploi des rouleaux auxquels des surfaces planes peuvent être substituées.

Quant à l'emploi des poutres pleines au lieu des treillis si fort prisés par les Américains, il a toujours été préconisé par Stephenson qui repousse les treillis. Cet ingénieur a fait voir qu'à poids égal et hauteur égale les poutres pleines résistent mieux que les autres. Cela s'explique, dans les poutres pleines les assemblages sont plus également répartis, dans les poutres évidées les éléments sont accumulés sur certains points, et la résistance des assemblages s'abaisse rapidement en raison du nombre des pièces assemblées sur le même point.

Ces points sont donc plus fatigués que les autres.

L'expérience a démontré que le coefficient de résistance de plusieurs tôles réunies entre elles par des rivets diminuerait en raison du nombre de ces rôles.

MM. Chateau, Dru, Génissieu et Vigreux ont été reçus membres de la Société.

SÉANCE DU 20 DÉCEMBRE 1861

Présidence de M. Eugène Flachat

M. le Président rappelle que dans le courant de l'année une commission a été nommée pour examiner les modifications à apporter au réglement.

Cette commission a fait son rapport et le Comité a examiné les modifications proposées par la commission.

Conformément à l'article 127 du réglement, c'est dans cette réunion que toutes les modificatfons doivent être votées.

En conséquence il est donné lecture des articles suivants qui sont successivement adoptés à l'unanimité.

ARTICLES ANCIENS.	ARTICLES MODIFIÉS.
Art. 2. — La demande est trans-	Art. 2. — La demande est trans-

mise sans délai au Comité, qui l'examine et la discute dans sa plus prochaine séance, et s'entoure de tous les renseignements qu'il juge utiles (tout sociétaire qui aura des renseignements à fournir aura le droit de les produire au sein du Comité) ; il peut appeler au besoin dans son sein les parrains du candidat ou seulement l'un d'eux.

Le Comité décide, à la simple majorité pour les membres sociétaires ou pour les membres associés, et à l'unanimité pour les membres honoraires, s'il y a lieu de présenter *le candidat* ou de l'ajourner.

Le candidat ajourné par le Comité pourra, soit reproduire sa demande, dans les mêmes formes que la première fois, après un délai d'une année au moins, soit en appeler immédiatement à la Société.

La demande d'admission ajournée par le Comité n'est portée à la connaissance de la Société que du consentement du candidat.

Art. 6. — Une lettre d'avis, signée par l'un des secrétaires, est adressée au nonveau membre avec un exemplaire des Statuts et du réglement intérieur de la Société.

Avant de participer aux travaux de la Société et de recevoir ses publications, le membre admis devra avoir payé : 1° les 25 fr. de droit d'entrée, contre lesquels le trésorier lui délivrera une carte de sociétaire, signée du Président et du trésorier ; 2° le premier trimestre de l'année courante ou les trimestres échus avant sa présentation.

Art. 7. — Tout membre qui n'a pas rempli dans les délais fixés les conditions imposées par l'art. 7 des

mise sans délai au Comité, qui l'examine et la discute dans sa plus prochaine séance, et s'entoure de tous les renseignements qu'il juge utiles (tout sociétaire qui aura des renseignements à fournir aura le droit de les produire au sein du Comité) ; il peut appeler au besoin dans son sein les parrains du candidat ou seulement l'un d'eux.

Le Comité décide, à la simple majorité pour les membres sociétaires ou pour les membres associés, et à une majorité représentant les trois quarts des voix pour les membres honoraires, s'il y a lieu de présenter *le candidat* ou de l'ajourner. Le vote au scrutin est obligatoire.

Le candidat ajourné par le Comité pourra, soit reproduire sa demande, dans les mêmes formes que la première fois, après un délai d'une année au moins, soit en appeler immédiatement à la Société.

La demande d'admission ajournée par le Comité n'est portée à la connaissance de la Société que si le candidat réclame cette communication.

Art. 6. — Une lettre d'avis, signée par l'un des secrétaires, est adressée au nouveau membre avec un exemplaire des Statuts et du réglement intérieur de la Société.

Avant de participer aux travaux de la Société et de recevoir ses publications, le membre admis devra avoir payé : 1° les 25 fr. de droit d'entrée, contre lesquels le trésorier lui délivrera une carte de sociétaire, signée du Président, d'un secrétaire et du trésorier ; 2° la cotisation de l'année courante.

Art. 7. — Tout membre qui n'a pas rempli dans les délais fixés les conditions imposées par l'art. 7 des Sta-

Statuts pourra être censuré en séance par le Président, après avoir été toutefois avisé par le Bureau, qui reste juge des motifs du retard et libre d'accorder un nouveau délai de trois mois.

La censure du Président pourra, sur l'avis conforme du Bureau, *être sanctionnée* par la suppression de l'envoi des publications de la Société au membre censuré.

Art. 11. — Si un membre du Comité est forcé de s'éloigner de Paris pendant six mois ou plus, s'il est démissionnaire, ou s'il meurt, les membres de la Société seront prévenus huit jours avant la plus prochaine réunion bimensuelle, pour procéder à l'élection d'un nouveau membre.

Art. 16. — Le trésorier fait les recettes et paye les états de dépenses visés par le Président; il présente la situation de la caisse au Comité une fois par mois. Ces situations sont inscrites au procès-verbal de la séance.

Art. 17. — Le Président remplit les fonctions de censeur, et comme tel, il veille à l'exécution du règlement, présente à la Société, dans ses réunions bisannuelles, un rapport général et critique sur la situation de ses finances et de ses travaux.

Art. 18. — Pour se conformer à l'art. 11 des Statuts, le Comité se divise en quatre sections. Chaque section est présidée par un vice-président, et à chacune d'elles est attaché l'un des secrétaires.

Art. 19. — Une des sections s'occupe des travaux publics autres que

tuts pourra être censuré en séance par le Président, après avoir été toutefois avisé par le Bureau, qui reste juge des motifs du retard et libre d'accorder un nouveau délai de trois mois.

La censure du Président pourra, sur l'avis conforme du Bureau, *être sanctionnée* par l'affichage des noms du retardataire dans le local de la Société, et par la suppression de l'envoi des publications de la Société au membre censuré.

Art. 11. — Si un membre du Comité est démissionnaire, ou s'il meurt, les membres de la Société seront prévenus huit jours avant la plus prochaine réunion bimensuelle, pour procéder à l'élection d'un nouveau membre.

Art. 16. — Le trésorier fait les recettes et paye les états de dépenses visés par le Président; il est tenu de présenter la situation de la caisse à toute demande du Président. Ces situations sont inscrites au procès-verbal de la séance, où elles auront été fournies.

Art. 17.—Le Président remplit les fonctions de censeur, et comme tel, il veille à l'exécution du règlement, présente à la Société, dans ses réunions bisannuelles, un rapport général sur la situation de ses finances et de ses travaux.

Art. 18. — Pour se conformer à l'art. 11 des Statuts, le Président devra diviser le Comité en quatre sections. Cette division est obligatoire. Chaque section élit son président et son secrétaire.

Art. 19. — Les travaux des sections seraient les suivants :

les chemins de fer, tels que les travaux de municipalité, de voirie, etc. Une autre s'occupe des chemins de fer et de tout ce qui s'y rattache. Une autre s'occupe des arts mécaniques et métallurgiques. Une autre enfin s'occupe d'agriculture, des arts chimiques, des arts économiques, etc.	1° Travaux publics; constructions particulières et agricoles; 2° Mécanique et ses applications. 3° Travaux géologiques, sondages, mines et métallurgie. 4° Physique et chimie industrielle.
Art. 22. — La section doit faire un rapport sur chacune des questions ou des propositions qui lui sont envoyées; ce rapport est transmis par le secrétaire au Président, qui le met à l'ordre du jour de la plus prochaine réunion de la Société. Elles peuvent aussi, au besoin, s'adjoindre un ou plusieurs membres de la Société jugés aptes par leur spécialité à éclairer la discussion d'une question. — Les membres ainsi adjoints à une section, pour l'examen d'une ou plusieurs questions déterminées, y auront voix délibérative.	Art. 22. — La section doit faire un rapport sur chacune des questions ou des propositions qui lui sont envoyées; ce rapport est transmis par le secrétaire au Président, qui le met à l'ordre du jour de la plus prochaine réunion de la Société. Elle doit aussi s'adjoindre un ou plusieurs membres de la Société jugés aptes par leur spécialité à éclairer la discussion d'une question. — Les membres ainsi adjoints à une section, pour l'examen d'une ou plusieurs questions déterminées, y auront voix délibérative.
Art. 23. — La Société peut toujours, d'après la proposition d'un de ses membres, ou sur celle du Président, renvoyer l'étude de certaines questions à une commission spéciale nommée *ad hoc*.	Art. 23. — La Société peut toujours, d'après la proposition d'un de ses membres, ou sur celle du Président, renvoyer l'étude de certaines questions à une commission spéciale nommée *ad hoc*. Ce renvoi est de droit pour toute proposition concernant les intérêts de la Société.
Art. 24. — Les membres de cette commission sont nommés, soit par le Président, si la Société lui défère ce choix, soit au moyen d'une élection par scrutin de liste et à la majorité relative; en cas de partage des voix, le plus âgé des deux candidats l'emportera.	Art. 24. — Les membres de cette commission sont nommés, soit par le Président, si la Société lui défère ce choix, soit au moyen d'une élection par scrutin de liste et à la majorité relative, si la demande en est faite par cinq membres appuyant la proposition; en cas de partage des voix, le plus âgé des deux candidats l'emportera.
Art. 30. — Les réunions de la Société, du Bureau, du Comité, des	Annulé.

sections et des commissions, ont lieu au siége de la Société.

Tout membre du Comité doit, après sa nomination, déposer chez le trésorier une somme de 24 fr.; et, à chaque séance du Comité où sa présence sera consignée sur un registre *ad hoc* par sa propre signature, il lui sera remis un jeton de présence de deux francs.

Annulé.

Art. 44. — Dans les discussions, le Président ne prend la parole que pour poser une question, la résumer, y ramener si l'on s'en écarte. S'il veut prendre part à la discussion, il doit préalablement céder le fauteuil à un vice-président, ou, en l'absence des vice-présidents, à l'un des membres du Bureau.

Art. 44. — Dans les discussions le Président ne prend la parole que pour poser une question, la résumer, y ramener si l'on s'en écarte. S'il veut prendre part à la discussion, il doit préalablement céder le fauteuil à un vice-président, ou, en l'absence des vice-présidents, à l'un des membres du Comité.

Art. 47. — Un vote ne peut être émis par la Société que sur des rapports à établir soit avec les autorités du pays, soit avec d'autres sociétés, mais jamais pour donner d'avis officiels sur une question d'art ou sur la valeur d'un travail communiqué à la Société.

Art. 47. — Un vote ne peut être émis par la Société que sur des rapports à établir soit avec les autorités du pays, soit avec d'autres sociétés, soit sur une affaire concernant les intérêts de la Société, mais jamais pour donner d'avis officiels sur une question d'art ou sur la valeur d'un travail communiqué à la Société.

Art. 50. — Le vote par bulletin est de droit, soit s'il est réclamé par *huit* membres ou moins, soit si, après deux épreuves successives par assis et levé, le Bureau déclare qu'il y a doute.

Art. 50. — Le vote par bulletin est de droit, soit s'il est réclamé par *six* membres au moins, soit si, après deux épreuves successives par assis et levé, le Bureau déclare qu'il y a doute.

Art. 54. — Tout membre qui *troublerait l'ordre*, et qui ne pourrait y être ramené par le Président, sera censuré par lui au nom de la Société, après que l'assemblée aura été consultée; s'il persiste dans sa conduite, il sera invité à donner sa démission, et, s'il s'y refuse, la Société pourra prononcer son exclusion, au scrutin secret et à la majorité des deux tiers des voix, après un rapport fait par

Art. 54. — Tout membre qui *troublerait l'ordre* sera censuré par le Président, au nom de la Société, après que l'assemblée aura été consultée; s'il persiste dans sa conduite, il sera invité à donner sa démission, et, s'il s'y refuse, la Société pourra prononcer son exclusion, au scrutin secret et à la majorité des deux tiers des voix, après un rapport fait par une commission de cinq membres,

une commission de cinq membres, nommés au scrutin et à la majorité absolue des membres présents; cette commission devra inviter le membre dont il s'agit à venir donner les explications qu'il jugera convenables.

Art. 55. — Tout membre de la Société a le droit de lui proposer la discussion et l'examen de telle proposition qu'il jugera convenable.

Art. 58. — Si le Bureau se décide pour la négative, ou si l'assemblée, consultée par le Président, ne veut pas interrompre l'ordre du jour, la proposition est renvoyée à l'examen du Comité ou d'une commission nommée *ad hoc*.

Art. 62. — Le Bureau se réunit au moins une fois tous les quinze jours, et autant que possible la veille des réunions de la Société. La convocation est faite par le Président.

Art. 64. — Tout membre qui, convoqué deux jours à l'avance, n'aura pas assisté à une séance du Bureau, sera passible d'une amende de 3 fr., qui sera versée dans la caisse de la Société. La majorité des membres présents est juge de la valeur des excuses qui pourraient être données par les membres absents.

Art. 69. — Chaque section se réunit dans les quinze jours qui suivent le renvoi d'une question ou d'un travail à son examen. Chacun des membres de la section est averti par le Président, qui convoque la réunion pour un jour donné.

Art. 70. — Dans cette première réunion, la section organise son travail et fixe les réunions ultérieures.

Art. 72. — Tout membre d'une section, convoqué trois jours à l'a-

nommés au scrutin et à la majorité absolue des membres présents; cette commission devra inviter le membre dont il s'agit à venir donner les explications qu'il jugera convenables.

Art. 55. — Tout membre de la Société a le droit de lui proposer la discussion et l'examen de telle proposition qu'il jugera convenable, en se conformant au réglement.

Art. 58. — Si le Bureau se décide pour la négative, ou si l'assemblée, consultée par le Président, ne veut pas interrompre l'ordre du jour, la proposition est renvoyée à l'examen du Comité qui est tenu d'en rendre compte à la Société dans le délai d'un mois.

Art. 62. — Le Bureau se réunit au moins une fois par mois sur la convocation du Président.

Art. 64. — Tout membre qui, convoqué deux jours à l'avance, n'aura pas assisté à une séance du Bureau, sera passible d'une amende de 5 f., qui sera versée dans la caisse de la Société. La majorité des membres présents est juge de la valeur des excuses qui pourraient être données par les membres absents.

Art. 69. — Chaque section se réunit dans les quinze jours qui suivent le renvoi d'une question ou d'un travail à son examen. Chacun des membres de la section est averti par son Président, qui convoque la réunion pour un jour donné.

Annulé.

Annulé.

vance pour la réunion de la section, et qui n'aura pas assisté à cette réunion, sera puni d'une amende de 2 fr., qui sera versée dans la caisse de la Société. La majorité des membres présents est juge de la valeur des excuses qui pourront être données par les membres absents.

Annulé.

Art. 86. — En outre du compte rendu ci-dessus mentionné, la Société fait des publications spéciales sur un sujet donné toutes les fois qu'elle le juge convenable.

Art. 86. — En outre du compte rendu ci-dessus mentionné, la Société peut faire des publications spéciales sur un sujet donné toutes les fois qu'elle le juge convenable; le Bureau en soumet la proposition à l'assemblée qui décide si cette publication aura lieu.

Art. 91. — Les comptes rendus disponibles peuvent être acquis par les membres nouvellement admis, à l'effet de compléter leur collection, au prix de 50 c. la feuille de seize pages d'impression et de 1 fr. par planche.

Une personne étrangère à la Société peut se les procurer au même prix, mais avec l'autorisation du Bureau.

Art. 91. — Les comptes rendus disponibles peuvent être acquis par toute personne qui les demandera, au prix de 50 c. la feuille de seize pages d'impression, et de 1 fr. par planche.

Les membres de la Société nouvellement admis pourront acquérir la collection complète des années écoulées, au prix de 5 fr. par année.

Art, 92. — La Société formera une bibliothèque et des archives, qui seront placées au local où elle tient ses séances. Cette bibliothèque se composera des travaux ou ouvrages remis par les membres de la Société, de tous les travaux que la Société fait faire, et des ouvrages dont elle croit devoir faire l'acquisition.

Art. 92. — La Société possède une bibliothèque et des archives, placées au local où elle tient ses séances. Cette bibliothèque se compose des travaux ou ouvrages remis par les membres de la Société, de tous les travaux que la Société fait faire et des ouvrages dont elle croit devoir faire l'acquisition.

Art. 96. — Tous les membres ont le droit de consulter, sans déplacement, et pour leur usage personnel exclusivement, les archives; de prendre des notes, copies, calques de toutes les pièces, excepté des procès-verbaux relatifs aux réceptions, aux radiations, aux dispenses de cotisation et aux distributions de secours. Sous aucun prétexte il ne sera

Art. 96. — Tous les membres ont le droit de consulter les archives, sans les déplacer, et pour leur usage personnel exclusivement; de prendre des notes, copies, calques de toutes les pièces, excepté des procès-verbaux relatifs aux réceptions, aux radiations, aux dispenses de cotisation et aux distributions de secours. Sous aucun prétexte il ne sera

prêté de pièces ou ouvrages appartenant à la Société.

Art. 98. — La bibliothèque est ouverte, pour les membres, tous les jours, de midi à cinq heures; les vendredis soir, de huit à dix heures, excepté les jours de réunion; et les dimanches, de huit heures à onze heures du matin.

Art. 122. — La Société a toujours le droit d'expulser de son sein tout membre qui ne réunirait plus des conditions suffisantes de moralité. (Article 3 des Statuts.) Un membre accusé dans ce sens par trois membres de la Société sera appelé à se justifier devant le Comité.

Art. 125. — Le réglement devient exécutoire immédiatement après le vote de l'assemblée générale qui l'a accepté et approuvé.

Art. 127. — La révision du réglement ne peut avoir lieu qu'à la fin de chaque exercice, et les modifications ne peuvent être votées qu'à l'assemblée générale de décembre.

Art. 128. — Si dans l'une des réunions de novembre, au plus tard, une proposition à fin de révision de

prêté de pièces ou ouvrages appartenant à la Société.

Art. 98. — La bibliothèque est ouverte, pour les membres, tous les jours ordinaires, de midi à cinq heures; les vendredis soir, de huit à dix heures, excepté les jours de réunion, et les dimanches de huit heures à onze heures du matin.

Art. 122. — Ne pourra être admis dans l'association, ni continuer à en faire partie, tout membre condamné pour crime, lors même que, par l'admission de circonstances atténuantes, il n'aurait subi qu'une peine correctionnelle; ou tout membre condamné pour un des crimes ou délits compris dans le titre II, chapitre 2, du livre 3, du Code pénal, ou pour un de ceux prévus par les articles 330 et 334 du même Code. (Art. 31 des Statuts.)

Art. additionnel 124 bis. — Au commencement de chaque semestre, le Président dresse une liste des membres qui devront, pendant l'année, être prêts à assister aux services funèbres des membres de la Société décédés; ils seront prévenus d'urgence par l'archiviste.

Art. 125 — Le réglement devient exécutoire immédiatement après le vote de l'assemblée générale qui l'a accepté et approuvé; mais il n'est définitif qu'après la sanction de M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

Art. 127. — La révision du réglement ne peut avoir lieu qu'à la fin de chaque exercice, et les modifications ne peuvent être votées que dans une assemblée générale extraordinaire convoquée à cet effet.

Art. 128. — Si dans une des réunions, une proposition à fin de révision de telle ou telle clause des

telle ou telle clause du réglement, signée par cinq sociétaires, a été déposée sur le bureau, la réunion consultée votera à la majorité simple sur la prise en considération.

Art. 129. — La révision décidée, une commission de cinq membres est nommée séance tenante, au scrutin et à la simple majorité, avec mission de procéder à l'étude des modifications proposées.

Art. 130.— Cette commission devra s'entendre avec le Bureau et se concerter avec lui pour faire ce rapport.

Art. 131. — Le rapport de cette commission est lu à l'assemblée générale de décembre, et l'assemblée consultée sur chacune des conclusions isolément. Toute modification proposée doit, pour être admise, réunir en sa faveur les deux tiers des voix présentes.

Statuts ou du réglement, signée par cinq sociétaires, a été déposée sur le bureau, la réunion consultée votera à la majorité simple sur la prise en considération.

Art. 129. — La prise en considération adoptée, une commission de cinq membres est nommée séance tenante, au scrutin et à la simple majorité, avec mission de procéder à l'étude des modifications proposées.

Art. 130. — Cette commission remettra son rapport au Président qui le soumettra au Comité.

Art. 131. — Le rapport de cette commission est lu à l'assemblée générale spéciale, ainsi que les observations du Comité; l'assemblée est consultée sur chacune des conclusions isolément. Toute modification proposée doit, pour être admise, réunir en sa faveur les deux tiers des voix présentes; et, pour être mise à exécution, elle doit avoir été approuvée préalablement par le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

Le réglement ainsi modifié sera soumis à l'approbation de l'administration supérieure.

La parole est donnée à M. Loustau, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

M. Loustau indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 21 décembre 1860, de. . . . . 519.
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de . . . 43
562
A déduire, par suite du décès d'un sociétaire et de radiations. . 13
Total des sociétaires au 20 décembre 1861. . 549

Les versements effectués pendant l'année 1861 se sont élevés à:
1° Pour le service courant, cotisations, droit

d'entrée, amendes, etc. fr.	15,511 25	
2° Pour la constitution du fonds social inaliénable fr	59,516 »	75,027 25
Il reste à recouvrer en cotisations, droit d'entrée, amendes fr.	6,883 »	
Sur le fonds social fr.	850 »	7,733 »
Total de ce qui était dû à la Société fr		82,760 25
Au 21 décembre 1860, le solde en caisse était de fr. .		4,295 15
Les versements effectués pendant l'année 1861 se sont élevés à fr		75,027 25
		79,322 40
Les dépenses de l'année courante se sont élevées à :		
1° Pour achat de 190 obligations fr. . .	57,139 45	
2° Pour dépenses d'impression, appointements, affranchissements, etc., etc. . . .	16,751 75	73,891 20
Il reste en caisse à ce jour fr.		5,431 20
dont. . 3,054 65 pour le service courant		
et . . 2,376 55 pour le fonds social.		
Somme égale 5,431 20.		5,431 20

La Société a en outre en portefeuille 190 *obligations de chemins de fer.*

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes du trésorier, ces comptes sont approuvés.

M. le Président adresse au trésorier, au nom de la Société, des remerciments pour sa bonne et active gestion.

M. Peligot ayant insisté pour ne plus accepter les fonctions de secrétaire, M. le Président lui exprime au nom de la Société les remerciments pour les services qu'il a rendus pendant les quatre dernières années où il a été exclusivement chargé de suivre la publication du Bulletin.

M. Le Président désire également exprimer au nom de la Société, sur la recommandation du Bureau et du Comité, à M. Husquin de Rhéville, secrétaire archiviste, ses remerciments pour le soin, le zèle et la parfaite intelligence avec laquelle il a géré les intérêts de la Société, et le bon esprit qu'il apporte dans ses relations avec les sociétaires.

Il est ensuite procédé aux élections des membres du Bureau et du Comité pour l'année 1862.

Ces élections ont donné le résultat suivant :

BUREAU

Président : M. Tresca ✱ ✱ ✱ ✠.

Vice-Présidents : MM. . . . . Callon (Charles) ✱. — Salvetat ✱. — Barrault (Alexis) ✱. — Forquenot ✱.

Secrétaires : MM. . . . . Richoux (Charles).
Tronquoy (Camille).
Guillaume.
Ermel.

Trésorier : M. . . . . Loustau (Gustave) ✻.

COMITÉ

MM. Degousée ✻.
Yvon-Villarceau ✻✻.
Alcan (Michel) ✻.
Flachat (Eugène) O ✻ ✻.
Nozo (Alfred) ✻ ✻.
Faure (Auguste) ✻.
Laurent (Charles).
Vuigner (E.) O ✻ C ✻.
Chobrzynski ✻.
Peligot (Henri).

MM. Petiet (Jules) O ✻✻✻✻.
Arson.
Limet.
Farcot (J. Léon).
Dubied.
Love (G.)
Petitgand.
Yvert (Léon).
Alquié ✻.
Thomas (Léonce) ✻.

ÉTUDE SUR LES MEILLEURS MOYENS D'ARRIVER A LA FABRICATION ÉCONOMIQUE DE LA FONTE,

PAR M. CAZES.

§ 1er. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

1. *Utilité de cette étude.* — Au moment où les conditions d'existence de l'industrie métallurgique (1) en France viennent d'être si gravement modifiées par les réformes introduites dans la législation douanière, il semble très-intéressant, pour tous ceux qui s'occupent de la fabrication de la fonte, d'étudier les principaux résultats acquis par l'expérience de ces dernières années, et les progrès les plus récents faits dans cette branche de la métallurgie du fer.

2. *Nécessité impérieuse d'arriver à une fabrication économique.* — Plus que jamais, en effet, les usines françaises vont avoir besoin, non-seulement pour lutter contre la concurrence étrangère, mais encore pour parer aux éventualités de l'avenir, de perfectionner leurs appareils et leurs méthodes, afin de trouver, dans la supériorité et l'économie des procédés de fabrication, une compensation aux diverses causes d'infériorité qui ont nécessité jusqu'ici le maintien de droits protecteurs.

3. *Tentatives faites pour y arriver.* — Parmi les innovations, les tentatives faites depuis une dizaine d'années dans la construction et la conduite des hauts-fourneaux, quelques-unes ont donné des résultats sérieux, d'autres n'ont abouti qu'à des déceptions; signaler celles-ci pour les éviter, celles-là pour les imiter et les développer, étudier celles dont les résultats paraissent suffisamment établis par des expériences concluantes, rechercher, enfin, comment la théorie peut rendre compte du succès des unes, de l'insuccès des autres, tel est le but, tel est le programme de cette étude.

(1) L'auteur écrivait ces lignes dans les premiers mois de l'année 1861.

Parmi toutes les tentatives ayant pour but la production plus économique de la fonte, les plus nombreuses ont été celles dans lesquelles on s'est proposé, comme moyen, l'accroissement de la production des fourneaux, et pour cela on a eu recours, tantôt à l'augmentation des dimensions des fourneaux, tantôt à l'emploi d'un volume de vent plus considérable, de pressions plus fortes, de buses plus grandes, ou plus multipliées, et, dans plusieurs usines, on est ainsi parvenu, sans changement notable dans le matériel et sans accroissement dans le personnel, à une production double de celle que l'on obtenait il y a vingt ans. De là, on le comprend, une économie évidente sur les frais d'établissement, les frais généraux et la main-d'œuvre.

Mais les moyens mis en jeu sont loin d'avoir tous la même valeur, et tandis que les uns ajoutent des économies de combustible aux économies résultant de l'accroissement de production, les autres n'atteignent ce but qu'au prix d'une dépense plus forte de matières premières, et d'une altération dans la qualité des produits.

4. *Importance prédominante de l'économie du combustible.* — Or, il est facile de voir que, dans tout pays où le combustible n'est pas à vil prix, une faible augmentation dans la proportion consommée fait perdre toute l'économie d'un accroissement de production. Supposons en effet, pour mieux fixer les idées, que la production d'un fourneau soit portée de 18 tonnes à 24 tonnes par jour, et supposons, d'ailleurs, que les frais généraux, l'intérêt du capital et son amortissement en quinze ans s'élèvent ensemble à 6,600 francs par mois, et la partie de la main-d'œuvre non proportionnelle à la production, à 2,500 fr. par mois. L'économie obtenue par le fait de l'accroissement de production dans le rapport supposé sera de 4 fr. 20 par tonne de fonte, et l'on voit que cette économie serait détruite par un excès de consommation de 168 k. de coke à 25 fr. la tonne, en ne tenant, même,

aucun compte de la perte de minerais et de la moins-value de la fonte.

Ces chiffres montrent la nécessité de se préoccuper toujours de l'économie du combustible. Très-importante par son influence sur le prix de revient, elle l'est encore au point de vue de la pureté des produits. Trop souvent le combustible apporte dans le fourneau la majeure partie des matières nuisibles qui s'y trouvent en contact avec le métal, et la réduction sur la quantité de combustible employé entraîne une diminution des chances d'impureté de la fonte. Enfin, on réduit proportionnellement les quantités de cendres introduites par le combustible dans l'appareil, et, par suite, la quantité de fondants nécessaires à leur fusion, et la somme des laitiers à fondre.

5. *Théorie des hauts-fourneaux, servant de base à la discussion.* — Avant d'aborder l'exposé des tentatives faites, et la discussion des résultats obtenus, il paraît nécessaire de rappeler, aussi brièvement que possible, les principes généraux de la théorie qui servira de base à cette discussion, théorie adoptée par tous les métallurgistes depuis les beaux travaux de MM. Le Play, Ebelmen, Thomas, Laurens, etc...

Le haut-fourneau est un appareil dans lequel on se propose d'extraire la fonte du minerai par la série d'opérations suivantes :

1° Réduction de l'oxyde de fer, et passage du fer à l'état métallique;

2° Carburation du fer, et passage du métal de l'état de fer pur, infusible à la température de l'appareil, à celui de carbure de fer ou fonte, fusible à cette température;

3° Séparer par voie de fusion, le métal de toutes les matières étrangères entrant dans les gangues, les cendres du combustible et les fondants.

La forme générale de l'appareil est généralement celle de

deux cônes tronqués réunis par leurs grandes bases, la cuve et les étalages, continués à la partie inférieure par un troisième cône tronqué de diamètre moindre, l'ouvrage, à la base duquel est ménagée une cavité recevant les matières en fusion, le creuset.

Les matières premières, minerais, combustibles et fondants sont introduits par la partie supérieure et remplissent le fourneau. A mesure que la combustion et la fusion font baisser le niveau, on introduit par l'ouverture supérieure, le gueulard, de nouvelles quantités de matières, en les stratifiant en lits horizontaux superposés.

Voici maintenant l'ensemble des réactions qui s'accomplissent dans l'appareil.

L'air projeté à la partie inférieure du fourneau rencontre du combustible à une haute température, et dans des conditions très-favorables à la combinaison de l'oxygène et du carbone ; il se forme de l'acide carbonique ; l'affinité étant très-énergique, tout l'oxygène est bientôt combiné, et, à une faible hauteur au-dessus des tuyères, le courant gazeux continuant sa marche ascensionnelle ne contient plus d'oxygène, mais seulement de l'acide carbonique. — Je néglige l'azote et les produits de la décomposition de la vapeur d'eau contenue dans l'air injecté, en les supposant, jusqu'à plus ample certitude, témoins passifs des réactions.

Cette combustion produit une température d'autant plus élevée que le combustible est plus dense, l'action de combustion resserrée dans un plus petit espace, et, par suite, la chaleur produite répartie dans un poids moindre de matières.

L'acide carbonique continuant à s'élever rencontre du carbone à une haute température.

Il se forme alors de l'oxyde de carbone, gaz réducteur ; en même temps, la température s'abaisse par cette conversion de l'acide carbonique en oxyde de carbone.

Cette réaction commence à se produire vers la partie supérieure de l'ouvrage ; elle est complète au ventre, où les analyses d'Ebelmen ont montré qu'il n'y a plus d'acide carbonique.

Au contact de l'oxyde de fer qu'il rencontre, incomplètement réduit, dans cette région, l'oxyde de carbone tend à repasser de nouveau à l'état d'acide carbonique aux dépens de l'oxygène de l'oxyde de fer, qu'il transforme d'abord en oxyde inférieur, les molécules qui se trouveraient à ce moment transformées en fer étant de suite réoxydées par l'acide carbonique, produit de la réaction, qui se trouve mélangé en forte proportion avec l'oxyde de carbone dans les pores du minerai.

Dès que toute la masse de celui-ci est amenée à l'état d'oxyde inférieur, l'oxyde de carbone devient vite assez dominant dans le mélange pour neutraliser l'action de l'acide carbonique et opérer lui-même la réduction de l'oxyde inférieur à l'état métallique, sans que l'acide carbonique puisse la détruire. La réduction finie, la production d'acide carbonique cesse, et, l'action de l'oxyde de carbone continuant, la carburation commence. — Le minerai réduit et carburé arrive, en descendant toujours, dans des régions de plus en plus chaudes, et les matières étrangères se combinent entre elles pour former des composés fusibles à la température de fusion du métal.

Parvenues dans l'ouvrage, toutes ces matières entrées en fusion commencent à couler à travers le coke en ignition, d'abord dans une atmosphère d'acide carbonique et d'azote, puis dans un mélange d'acide carbonique, d'azote et d'oxygène, de plus en plus riche en oxygène, avec des températures de plus en plus élevées. Dans ces conditions le métal carburé serait très-vite décarburé et réoxydé s'il n'était soustrait à l'énergie de cette action chimique; mais deux causes concourent à l'y soustraire: la rapidité avec laquelle, parvenu à l'état liquide, il traverse cette région oxydante,

et le mélange qui subsiste encore de ce métal liquide aux autres matières fondues, mélange dont l'effet est de dérober une partie des surfaces à l'action chimique. Aussitôt arrivées dans le bassin inférieur, ces matières liquéfiées et maintenues liquides par la haute température qui règne en ce point obéissent aux lois de la pesanteur et se séparent en raison de leurs densités différentes.

Ainsi se trouve résolu le triple problème.

D'autre part, le gaz ayant servi à la réduction rencontre au-dessus du minerai une nouvelle couche de combustible, et reforme de l'oxyde de carbone qui va opérer à son tour une action réductrice sur la couche de minerai superposé. — Il ne faudrait pas croire que le nombre de ces transformations successives fût très-multiplié, et qu'il approchât, par exemple, de celui des charges et des couches alternatives de combustible et de minerai traversées par le courant gazeux. Il est facile de déduire du calcul le nombre moyen de ces transformations, en comparant la composition des gaz à leur entrée et à leur sortie du fourneau.—On lance, d'une part, par la tuyère, un volume connu d'air atmosphérique, et, d'autre part, il sort par le gueulard un volume inconnu de gaz dont on peut déterminer la composition. De cette composition il est facile de déduire le volume inconnu de ce mélange, en le comparant à l'azote qui prend probablement peu de part aux réactions diverses produites dans l'appareil, et sort intégralement du fourneau.

Prenons, par exemple, les analyses d'Ebelmen. — La composition des gaz au gueulard était (en volume), d'après ses observations :

Acide carbonique.....	12. 88
Oxyde de carbone....	23. 51
Hydrogène.....	5. 82
Azote.....	57. 79
Total.....	100. 00

La composition de l'air lancé dans le fourneau, en négligeant la vapeur d'eau, est en volume :

Azote.....	79. 10
Oxygène.....	20. 90
Total.....	100. 00

De ces deux analyses il est facile de déduire la quantité de carbone qui devra se combiner successivement à l'oxygène, en formant de l'acide carbonique, ou à l'acide carbonique, en formant de l'oxyde de carbone, pour amener le mélange gazeux primitif à la composition finale donnée par Ebelmen.

Supposons, en effet, tout d'abord, que tout l'oxygène ait été employé à la combustion et ait formé de l'acide carbonique; à ce moment, la composition du nouveau mélange en volume sera :

Azote.....	79. 10
Acide carbonique.....	20. 90
Total.....	100. 00

On sait, en effet, que le volume de l'acide carbonique est égal au volume de l'oxygène qui a servi à le former.

Cet acide carbonique se convertissant à son tour en oxyde de carbone, et doublant de volume, la composition du nouveau mélange sera :

Azote.....	79. 10
Oxyde de carbone....	41. 80
Total.....	120. 90

ou, en ramenant à 100 volumes :

Azote.....	65. 50
Oxyde de carbone....	34. 50
Total.....	100. 00

Cet oxyde de carbone, par son action réductrice, va régénérer

de l'acide carbonique ; le volume du gaz ne change pas par cette réaction. — La composition devient donc simplement :

Azote.....	65. 50
Acide carbonique.....	34. 50
Total.....	100. 00

La réduction opérée, une partie seulement de l'acide carbonique va se transformer de nouveau en oxyde de carbone au contact du charbon ; car si l'on calculait ce que deviendrait la composition du mélange, en supposant la transformation complète, on trouverait que la proportion d'azote se serait abaissée au-dessous du chiffre trouvé par Ebelmen.

La portion transformée est à peu près la moitié ; cette hypothèse donne en effet :

Azote.....	65. 50
Acide carbonique.....	17. 25
Oxyde de carbone....	34. 50
Total.....	117, 25

ou, en ramenant à 100 volumes :

Azote.....	55. 50
Acide carbonique.....	14. 90
Oxyde de carbone....	29. 60
	100. 00

chiffres qui concordent assez avec ceux d'Ebelmen, si l'on néglige l'hydrogène et les gaz hydrogénés provenant de la vapeur d'eau hygrométrique, dont nous n'avons pas tenu compte dans ce calcul.

Le mélange gazeux s'élève donc jusqu'à la partie supérieure du fourneau soumis à des décompositions et recompositions partielles et successives, et cède en même temps une partie de sa chaleur propre aux matières plus froides qu'il rencontre, utilisant, par conséquent, une portion d'autant plus considérable de cette chaleur que son trajet a été plus prolongé, et qu'il s'est trouvé en contact avec une plus grande quantité de matières.

6. *Moyens divers d'accroître la production.* — Cette théorie admise, on conçoit plusieurs moyens d'arriver à l'accroissement de la production. — En passant le même nombre de charges, on peut, dans certains cas, augmenter la proportion de minerai par rapport au coke, ou bien encore, par un changement de dosage et l'emploi de minerais plus riches, augmenter la teneur en fer de la charge sans changer son poids. On peut enfin, en supposant que l'on ait atteint de ces deux côtés les limites extrêmes d'économie de combustible, passer un plus grand nombre de charges dans un temps donné, en augmentant la quantité de combustible brûlé pendant ce temps.

7. *Limites à cet accroissement.* — Mais, il est une limite qu'il importe de ne pas dépasser, c'est celle où, par cette rapidité de descente des charges, l'oxyde de fer arriverait imparfaitement réduit à la zone de fusion, auquel cas il fondrait et se mélangerait au métal qu'il décarburerait, et dont il abaisserait la qualité et la valeur. — Si, par une cause quelconque, une partie des minerais chemine plus rapidement dans le fourneau, c'est cette partie, moins longtemps soumise aux actions de réduction, qui règlera la limite de rapidité de descente des charges, et le bénéfice du séjour plus prolongé de l'autre partie de la charge dans la région réductrice sera complétement perdu. On voit facilement par là, que la rapidité de descente des charges pourra être portée au maximum, lorsque toutes les matières introduites dans le fourneau arriveront à employer des temps égaux pour traverser les régions où s'accomplit la réduction.

8. *Conditions à remplir pour atteindre le maximum de production.* — Il est donc essentiel, pour arriver à la production maximum d'un fourneau, sans rien sacrifier de la qualité des produits, d'obtenir une parfaite identité d'action chimique dans tous les points d'une même zone.

Que faut-il pour atteindre ce but?

1° Une parfaite répartition du vent dans la zone de combustion, amenant une complète identité d'action chimique dans tous les points de l'ouvrage, et une concentration de cette combustion dans l'espace le plus restreint possible, donnant le maximum d'effet utile du combustible comme production de température.

2° Une parfaite répartition des gaz réducteurs;

3° Une parfaite répartition des matières soumises à leur action.

Plus on se rapprochera de cette perfection théorique, plus faible sera la consommation de combustible, plus grande la production, et meilleur le travail.

Donc, maximum d'économie des matières premières, perfection des produits, rapidité aussi grande que possible du travail, tout est solidaire; et chercher l'un de ces résultats en sacrifiant les autres c'est faire fausse route. Ce point bien établi, je vais passer à l'examen de l'influence que peuvent avoir, sur l'obtention des diverses conditions énumérées plus haut, les éléments divers qui entrent dans la composition de l'appareil ou concourent à sa marche, et essayer de déterminer dans quelles conditions chacun d'eux concourra le mieux au but désigné.

§ 2. — Emploi du vent.

9. *Erreur générale sur le volume de vent nécessaire aux hauts-fourneaux.* — Il est une erreur trop répandue relativement à la quantité d'air à fournir aux hauts-fourneaux; elle consiste à calculer ce volume d'après la quantité d'oxygène nécessaire à la conversion en acide carbonique du carbone brûlé dans l'appareil. Or, comme l'a déjà établi M. Laurens dans une note adressée à la Société des Ingénieurs Civils vers 1856, il résulte de la théorie développée plus haut, que tout l'oxygène de l'air lancé dans le haut-fourneau entre en combinaison tôt ou tard avec le carbone

à l'état d'oxyde de carbone, et qu'il ne sort du fourneau d'autre acide carbonique que celui qui provient de la décomposition du carbonate de chaux employé comme fondant, et la moitié à peu près de celui qui résulte de la combustion de l'oxyde de carbone par l'oxygène du minerai. En ne tenant aucun compte de la part prise par l'oxygène du minerai à la combustion du carbone, le maximum d'air à fournir théoriquement au haut-fourneau est donc de $4^{mc},440$ (volume ramené à la température 0^{oc}, et à la pression $0^{m},76$ de mercure) par kilogramme de carbone effectif.

Aussi, si l'on vient à comparer, dans un grand nombre de fourneaux, les volumes de vent fournis à l'appareil aux quantités de combustible consommées, on trouve les chiffres les plus divergents, depuis $2^{mc},830$ jusqu'à $13^{mc},300$ par kilogramme de carbone. Ces chiffres ont besoin d'être expliqués. Le premier peut paraître un peu faible; il résulte de calculs que j'ai faits moi-même sur la soufflerie des fourneaux de Saint-Louis, mais en prenant pour base du calcul le débit par les buses, assez différent du débit de la machine; en calculant, d'autre part, la quantité d'oxygène fournie par les minerais, on la trouvait équivalente à $0^{k},386$ par kilogramme de coke, poids équivalent à un volume d'air de $1^{m},580$, qui, ajouté aux $2^{mc},850$ fournis par les buses donnait $4^{mc},430$ par kilogramme de coke, chiffre très-voisin du volume théorique cité plus haut. — Au contraire, le chiffre de $13^{mc},300$ et tous ceux qui, comme lui, offrent un caractère marqué d'exagération, proviennent sans aucun doute de calculs faits sur les machines soufflantes, en prenant pour bases le volume des cylindres et le nombre de coups de piston, sans tenir compte de ce que le rendement de la machine n'est qu'une fraction de ce volume théorique, et sans retrancher du nombre obtenu les pertes d'air dues aux fuites par les joints des conduites, et au refoulement des tuyères.

Ces chiffres prouvent donc simplement une très-mauvaise uti-

lisation de la soufflerie. Il faudrait, pour les admettre, supposer que de l'oxygène, ou tout au moins une partie de l'acide carbonique formé à la base de l'ouvrage, eût pu traverser complétement le fourneau et en sortir à l'état libre, ce qui est manifestement impossible et en désaccord avec les analyses..

Aussi ne peut-on, le plus souvent, tirer aucune conclusion des données de cette nature publiées dans divers recueils. Tel fourneau passe pour recevoir 200 et 230 m.c. d'air par minute, qui n'en a, sans doute, pas reçu effectivement plus de 100 ; car cela correspondrait à une consommation minimum de 94 tonnes de coke à 80 p. 100 de carbone fixe par jour, soit 47 tonnes de production de fonte en 24 heures, en admettant même une consommation fort exagérée de 2,000 kil. de coke par 1,000 kil. de fonte ; ces résultats montrent l'absurdité des chiffres cités.

Mais ils montrent aussi l'avantage qu'auraient une foule d'usines à se préoccuper un peu plus d'obtenir un meilleur effet utile de leurs souffleries, auxquelles elles demandent trois et quatre fois le travail réellement nécessaire.

10. *Limite à l'augmentation de volume du vent.* — L'un des moyens d'accroître la production des hauts-fourneaux est, nous l'avons vu, d'augmenter le volume de vent qui leur est fourni. Nous avons également remarqué que la nécessité de ne laisser arriver dans la zone de fusion que des minerais complétement réduits imposait à cette augmentation une limite fixée par le temps même nécessaire à la réduction.

11. *Temps nécessaire à la réduction du minerai.* — Quel est-il? Je ne crois pas qu'il existe de données bien précises à cet égard. Ce temps est d'ailleurs variable avec la nature des minerais soumis à la réduction, avec leur perméabilité aux gaz réducteurs,

avec leur composition, avec la régularité plus ou moins grande des actions chimiques auxquelles ils sont soumis. Quels que soient les écarts résultant de ces diverses conditions, on peut, je pense, admettre qu'un séjour de 30 heures dans un fourneau en allure régulière sera, en tous cas, suffisant. Ce nombre est bien supérieur à celui qui résulte des essais faits à ce sujet en 1859, par M. Tunner, dans les hauts-fourneaux d'Eisenerz et de Saint-Stephan (Styrie) Ces essais ont prouvé que les minerais traversaient ces fourneaux en 12 heures, et que ce temps de séjour était suffisant pour l'élaboration des matières traitées à Eisenerz, qui étaient des sidéroses concassées.

12. *Difficultés provenant du tamisage du minerai.* — Mais il se présente une difficulté, qui, le plus souvent, empêche d'approcher, même de loin, de la limite correspondant à la nature du minerai employé ; elle réside dans le tamisage du minerai à travers les couches de combustible, ce qui fait qu'une partie du minerai prend sur la charge dont il fait partie une avance considérable, pouvant s'élever jusqu'à 40 et 60 0/0 du temps employé par celle-ci à traverser le fourneau, avance qui n'est nullement compensée par le retard de l'autre partie de la charge.

13. *Nécessité de prolonger la durée de séjour des charges dans le fourneau. Résultat.* — De cette difficulté, résultat de l'imperfection générale des appareils, naît la nécessité d'adopter un nombre assez élevé pour la durée du séjour des charges dans le fourneau. Le chiffre de 30 heures donné plus haut me paraît suffisamment forcé pour tenir compte de tout, et nous allons voir qu'il permet déjà d'aller fort loin. En partant de cette hypothèse, on pourra toujours, connaissant la composition du dosage d'un fourneau, le volume de la charge et la capacité intérieure de l'appa-

reil, déterminer facilement le nombre maximum des charges qui pourront passer sans danger dans un temps donné, et, par suite, le poids de coke consommé et le volume d'air correspondant. En faisant un calcul analogue sur des minerais rendant 37 p. 100, et supposant une consommation de coke de 1,200 k. par 1,000 k. de fonte, on voit que l'on arriverait facilement, avec une capacité intérieure de 150 mètres cubes, à une production de 21 à 25 tonnes de fonte par jour, selon que le temps de séjour des charges varierait entre 36 et 30 heures.

Dans les mêmes conditions, mais avec des minerais plus riches et une consommation de coke par conséquent plus faible, de 1,100 k., par exemple, par 1,000 k. de fonte, on arriverait à une production de 25 à 30 tonnes de métal par jour. Ces productions n'ont, jusqu'ici, jamais été dépassées ; elles ont été exceptionnellement atteintes. (1)

14. *Effets de l'augmentation de volume du vent.* — Supposons donc d'abord, que l'on augmente le volume du vent jusqu'à la limite fixée par le calcul, sans changer la pression ni la température. Rien ne changera dans l'intensité de l'action chimique. Si la répartition du vent reste la même, il faudra, pour la conversion en acide carbonique d'un poids ou d'un volume donné d'oxygène, la même surface de combustible. Pour un volume d'air double, il faudra une surface double ; et, les surfaces du combustible étant entre elles comme les volumes qu'il occupe dans le fourneau, la zone oxydante augmentera de volume dans le même rapport.

N'y a-t-il pas à cela un danger, celui de soumettre le métal à

(1) Depuis que ces lignes sont écrites, il est venu à ma connaissance qu'un fourneau de la Moselle avait pendant quelques semaines donné une production moyenne de près de 40,000 k. par jour. Quelques fourneaux du pays de Galles ont également atteint ce chiffre.

des chances trop grandes de décarburation, et par conséquent de l'affiner partiellement et de réduire sa qualité et sa valeur? Ce danger n'est pas très-grand. Du moment où, par hypothèse, on n'aura pas dépassé la limite convenable de descente des charges, le minerai arrivera toujours parfaitement réduit à la zone de fusion.

Si le volume du vent est doublé, la combustion est doublée, et le volume des matières descendantes également doublé. Leur vitesse de descente est donc accrue dans le même rapport que le volume du vent, et leur temps de séjour dans cette zone restera le même qu'auparavant.

15. *Nécessité d'accroître en même temps le volume de l'ouvrage.* — Seulement, comme il est important, au point de vue de la bonne répartition de la chaleur, que les phénomènes de fusion se passent tous dans la partie du fourneau resserrée à dessein, que l'on nomme l'ouvrage, il faudra que le volume de l'ouvrage soit accru en proportion.

Mais de quelle manière donnera-t-on à l'ouvrage le volume voulu?

Modifiera-t-on sa section horizontale, ou sa hauteur, ou les deux à la fois? C'est une question qui se lie intimement à celle de la répartition du vent, et que nous étudierons plus loin.

Si l'on prend le parti d'accroître la section horizontale, le vent conservant les mêmes conditions de température et de pression, il se peut qu'il ne parvienne plus assez facilement, ni en quantité suffisante au centre du fourneau, et la combustion se répartira, dès lors, d'une manière très-inégale. Une zone de combustion très-vive se formera au voisinage des tuyères, tandis que le centre de l'ouvrage restera relativement froid, et les matières descendantes seront exposées à des températures ou trop fortes

ou trop faibles, selon le point de la section qu'elles occuperont.

16. *L'augmentation du diamètre de l'ouvrage entraîne l'augmentation de la pression du vent.* — L'impérieuse nécessité, démontrée précédemment, d'obtenir une égale répartition du vent et des actions chimiques dans tous les points d'une même section de l'appareil, amène donc, dans ce cas, le métallurgiste à augmenter la pression du vent en raison de l'élargissement du creuset et de l'ouvrage.

Aussi, rien de plus variable dans la pratique que cet élément. Tandis que, dans certaines usines, on se contente de $0^m,060$ à $0^m,070$ de pression de mercure, on s'est élevé, dans d'autres, jusqu'à des pressions de $0^m,300$ à $0^m,311$. — Cette augmentation de la pression du vent, résultat nécessaire de la modification supposée de l'ouvrage, améliorera-t-elle effectivement les conditions de marche de l'opération? C'est ce que je vais rechercher.

17. *Influence de la pression du vent. — Quelles considérations doivent la déterminer? — Indécision de la question; causes de cette indécision.* — Quelles sont, tout d'abord, les considérations qui doivent servir à fixer la pression du vent?

On sait, d'une manière générale, que cette pression doit varier avec la nature des minerais et celle des combustibles. On sait encore que l'intensité des réactions chimiques varie avec la tension des gaz, et que des minerais plus réfractaires, comme des combustibles plus denses, exigent un vent plus comprimé. Mais ces données générales sont vagues, et il n'existe pas encore, à ma connaissance, d'expériences qui puissent les préciser, et servir de base à l'appréciation et au calcul des parties respectives d'influence que peuvent avoir, dans les phénomènes de

combustion, la température des corps mis en présence, la pression des gaz, leur vitesse, la densité des combustibles, l'état physique des minerais.

On sait, par exemple, qu'un vent comprimé active la combustion. Mais comment? Est-ce par le fait même de la seule pression, ou par suite de la vitesse plus grande des molécules, du renouvellement plus rapide des contacts, et de l'entraînement plus prompt et plus énergique des produits de la combustion, au fur et à mesure de leur formation? Des expériences seraient nécessaires pour permettre de discuter à fond la question.

Dans l'état actuel de la science, le problème du calcul de tous les éléments relatifs au mouvement des gaz dans un haut-fourneau me paraît impossible à résoudre ; il faudrait tenir compte de variations brusques de section, de frottements énormes sur des surfaces de formes et de dimensions très-difficilement appréciables, de modifications continues de température, de changements incessants dans la composition des gaz, de forces additionnelles créées dans l'appareil lui-même par les actions chimiques.

Les formules actuelles de la mécanique sont insuffisantes pour qu'on puisse tenir compte de tant d'éléments variables reliés par des lois inconnues ou mal connues.

18. *Nécessité d'expériences nouvelles.* — Il serait très-utile, pour examiner sérieusement ces questions d'avoir des séries d'expériences directes, sur l'influence respective que peut avoir chacun des éléments cités plus haut, non-seulement sur la combustion, mais encore sur les pressions, les températures et les compositions des gaz à toute hauteur, dans des fourneaux dont les conditions d'allure seraient parfaitement définies.

Il existe bien quelques expériences de ce genre, celles de

MM. Le Play et Ebelmen tout d'abord, les premières et les plus anciennes, et celles de M. Tunner, les plus récentes, faites en 1859 en Autriche. Mais les expériences de M. Tunner, comme celles d'Ebelmen, ont porté sur des haut-fourneaux au bois, et, quoique très-intéressantes, elles ne peuvent suffire à donner des renseignements bien précis sur ce qui doit se passer dans les hauts-fourneaux au coke, et surtout dans les immenses appareils, soufflés à fortes pressions, que l'on emploie en Angleterre depuis plusieurs années.

19. *Conditions qui déterminent la pression minimum.* — La pression minimum du vent doit être telle qu'elle puisse vaincre tous les obstacles qui s'opposent au mouvement des gaz dans le fourneau, et déterminer l'écoulement de ceux-ci par le gueulard ou les tuyaux disposés à cet effet, à travers les interstices des matières contenues dans l'appareil. — Supposons que cette condition soit remplie.

Si, sans rien changer au fourneau, on vient à augmenter le diamètre de l'ouvrage, il deviendra nécessaire, comme nous l'avons vu plus haut, d'augmenter la pression du vent, de manière qu'il puisse pénétrer jusqu'au centre, qui, sans cela, se maintiendrait à une température insuffisante.

Des métallurgistes anglais ont donné, à cet égard, la règle empirique que voici : ils fixent la pression proportionnellement à la largeur du creuset, en prenant pour base $0^m,102$ de mercure par mètre de largeur, ce qui donnerait $0^m,250$ de pression pour un creuset de $2^m,45$ de diamètre. Cette pression ne leur paraît pas encore suffisante, et la pression mise en usage pour un creuset de $2^m,44$ est de $0^m,311$.

20. *Résultats obtenus de l'emploi des fortes pressions.* — Si la

théorie nous fait défaut pour examiner la valeur de cette pratique, nous pouvons du moins la juger par l'examen des résultats qu'elle a produits dans un certain nombre d'usines. Aux Etats-Unis un grand nombre de fourneaux au bois, qui consommaient 900 k. à 1,200 k. charbon pour 1,000 k. fonte, ont vu leur consommation s'accroître jusqu'à 2,000 p. 1,000 par le fait de l'augmentation de la pression du vent. Dans les fourneaux au coke, on voit de même tous ceux où l'on emploie les fortes pressions se signaler par des consommations exagérées de combustible. Citons quelques exemples. — Les fourneaux de Gartsherrie sont alimentés par des fers carbonatés spathiques grillés rendant 60 p. 100 fer; ils sont soufflés avec de l'air à 400°, à la pression de $0^m,160$ de mercure, et reçoivent, dit-on, 230 m.c. d'air par minute, au moyen de 8 tuyères, dont trois sont placées à chacune des deux costières, et deux à la rustine. (Figure 1.)

Dans ces conditions la consommation de combustible a été de 2,500 k. de houille par tonne de fonte grise de moulage, dont 2,000 k. dans le fourneau, et 500 k. dans les appareils à air chaud. Cette consommation est évidemment trop forte, et je n'hésite pas à croire qu'une partie de cet excès est due à une pression trop considérable, et le reste, comme nous le verrons plus tard, à une trop grande largeur de l'ouvrage et à la multiplication des tuyères. — Si, d'autre part, on examine le chiffre donné pour la consommation d'air, on trouve que, pour une production journalière de 21,000 à 22,000 k. et une consommation de houille correspondante de 42,000 à 44,000 k., cette consommation serait de $7^{mc},650$ par kilogramme de houille brute, ou $10^m,800$ par kilogramme de carbone fixe, en supposant à cette houille une teneur en carbone de 70 p. 100. Ces résultats sont impossibles, nous l'avons démontré; ou il y a erreur dans les calculs qui les ont déterminés, ou le vent, effectivement lancé, n'entre pas dans l'appa-

reil, et il y a une perte de plusde 50 p. 100 du volume fourni, par des fuites des conduites, ou le refoulement des tuyères.

Un autre fourneau d'Ecosse, marchant en fonte blanche, avec un mélange de fers carbonatés spathiques grillés, d'hématites quartzeuses et de scories de forge, rendant 50 p. 100 au fourneau, soufflé avec de l'air à 400°, à $0^m,170$ de pression, et recevant, par hypothèse, 200 à 220 mètres cubes d'air par minute, consommait 1,900 k. à 2,000 k. de coke par tonne de fonte avec une production de 50 tonnes par jour.

Ces résultats, plus mauvais encore que ceux de l'exemple précédent, sont, je crois, la conséquence de l'emploi d'une pression trop forte. — La forme moins bonne de la cuve peut aussi avoir eu quelque influence. (Figure 2.)

A Strepy Bracquignies, on monta, il y a quelques années, un fourneau de grandes dimensions dont les formes sont à peu près représentées par la figure 5. On le souffla à la pression de $0^m,260$. En cinq mois, l'ouvrage fut rongé au point que le diamètre aux tuyères avait atteint $2^m,80$. La consommation moyenne de combustible était de 2,500 kil. de coke par tonne de fonte, au lieu de 1,250 kil., consommation ordinaire des usines environnantes, avec les mêmes combustibles et les mêmes minerais. Un mauvais système de chargement, et l'ouvrage primitivement trop large, accru de suite par la mauvaise marche, étaient sans doute, avec l'excès de pression, les causes principales de cet insuccès.

21. *Résultats de la substitution des pressions faibles aux fortes pressions.* — A St-Louis, près de Marseille, un fourneau (Fig. 4) mis en feu avec des pressions de 0,140 à 0,180 fut également rongé fort vite, et produisait des fontes de qualité inférieure avec des consommations de plus de 2,000 k. coke par tonne de fonte.

L'emploi d'une pression plus ménagée, de 0m,075 à 0m,080, ramena le fourneau à une bonne allure avec des consommations de 1,350 k. à 1,400 k. coke par tonne de fonte grise de moulage, malgré les difficultés résultant de la déformation des parties inférieures du fourneau. Dans les usines de la Société du Phénix, des fourneaux soufflés à forte pression, et produisant des fontes de qualité inférieure avec de fortes consommations et une mauvaise allure, ont été ramenés aussi à une marche convenable sous le triple point de vue de la qualité, de la quantité des produits, et des consommations de matières premières, par la simple substitution des pressions faibles aux fortes pressions.

22. *Effets des fortes pressions.* — L'effet d'une pression trop forte, mal proportionnée aux dimensions de l'appareil, et à la nature des matières traitées, est d'élever rapidement la zone de fusion, d'échauffer beaucoup le gueulard (1), de diminuer la zone de réduction assez pour qu'une partie des matières arrive non réduite dans la zone de fusion. Alors la fonte devient blanche; les accrochages tendent à se former, la consommation de combustible s'accroît, la qualité de la fonte baisse de plus en plus, et le rendement des minerais diminue.

23. *Il faut réduire la pression au minimum.* — De tous les faits exposés, la conclusion à tirer est, ce me semble, qu'il faut toujours chercher à employer la pression la plus basse possible qui puisse suffire à l'ignition du combustible. Quant aux minerais, c'est un tort de s'inquiéter de leur qualité plus ou moins réfrac-

(1) La température observée aux gueulards de fourneaux anglais, soufflés à 0m,160 de pression a été de 538°c, gueulard ouvert. A Saint Louis, avec une pression de 0m,065, cette température variait de 120°c, charge haute, à 170°c, charge basse, gueulard fermé.

taire autrement que pour la détermination des formes de l'appareil ; et les éléments qui doivent avoir le plus d'influence sur l'énergie de la pression sont : la densité du combustible, les dimensions de l'ouvrage, et, par dessus tout, les résistances à vaincre par les gaz pour traverser le fourneau, résistances qui dépendent principalement des formes et dimensions des morceaux de combustible et de minerai.

Avec un fourneau de formes et de dimensions convenables, si la pression est en harmonie avec ces résistances, tous les minerais, fusibles ou réfractaires, seront convenablement et économiquement traités, quelle que soit d'ailleurs la densité du combustible.

On peut, en conséquence, se renfermer avantageusement dans des limites beaucoup plus restreintes qu'on ne l'a fait jusqu'ici; et une variation de $0^m,060$ à $0^m,150$, suffirait, je crois, à toutes les natures de houille et de coke : pour dépasser cette limite, il faudrait avoir affaire à des minerais en grains bien fins, ou à des combustibles bien friables.

24. *Influence de la température.* — L'heureuse influence du chauffage de l'air lancé dans les hauts-fourneaux sur la marche de ces appareils n'est plus aujourd'hui niée par personne. On l'accuse bien encore, il est vrai, de favoriser la réduction du silicium et de donner des fontes moins pures, mais la composition des lits de fusion a, sur la pureté du métal, une influence bien plus considérable, et l'on peut toujours, par un dosage convenable, pallier cet inconvénient. Il n'en reste pas moins tous les autres avantages de l'air chaud, combustion plus active et température plus élevée de l'ouvrage, accompagnée d'une réduction de hauteur de la zone oxydante, d'une augmentation correspondante de la zone réductrice, enfin, température moins élevée des régions supérieures de l'appareil, meilleure utilisation

du combustible et moindre consommation de matières premières.

Je n'aborderai pas ici l'étude des appareils de chauffage. Il faut que l'air soit chauffé au moins à 250°. Une température de 180° à 200° a peu d'influence sur la marche du fourneau, et les avantages que l'on en retire valent à peine la complication d'appareils nécessitée par le chauffage de l'air. On peut aller jusqu'à 400°. Une température moyenne de 300° à 350° est celle que l'on doit, je pense, préférer. Elle donne d'excellents résultats, tout en laissant peu de chance de détérioration rapide aux appareils de chauffage dont les arrêts sont une cause d'irrégularité dans la marche du fourneau. D'autre part il est bon de garder le pouvoir de surchauffer l'air pendant quelque temps. C'est, dans certains cas, un excellent moyen pour triompher rapidement d'une tendance à l'engorgement. On peut aussi, par les variations ascendantes ou descendantes de la température du vent, modifier dans une certaine mesure l'état de carburation des fontes.

25. *De la répartition du vent. Du nombre des buses.* — A l'égard de la répartition du vent dans les fourneaux, il existe les plus grandes divergences dans les modes adoptés par les métallurgistes des diverses contrées. Le nombre et la position des buses, par lesquelles le vent est lancé dans l'ouvrage, offrent un grand nombre de combinaisons diverses.

Tandis que l'on se contentait quelquefois d'une buse pour souffler les anciens fourneaux au bois, on est allé jusqu'à en employer 18 dans quelques usines du pays de Galles. En France on en emploie le plus fréquemment 2 ou 3, plus rarement 4 ou 5. Je n'ai pas entendu dire que ce nombre ait été dépassé. En Angleterre on emploie fort rarement moins de 3 buses. Le plus souvent on en place 2 ou 3 dans chaque embrasure, et quelquefois même une à la tympe. On a de cette manière les prin-

cipales dispositions indiquées fig. 5 à 13. Le plus souvent les buses placées dans une même embrasure ne sont pas dans le même plan horizontal, mais à des hauteurs différentes, dans deux plans distants de $0^m,100$ à $0^m,150$. Il est bien peu de dispositions qui n'aient été essayées.

26. *But probable de la multiplication des buses.* — L'idée qui a guidé dans leurs tentatives les premiers métallurgistes qui essayèrent d'augmenter le nombre des buses, est, au premier abord, séduisante. Nous avons déjà vu de quelle importance est l'égale répartition des matières dans tous les points d'une même zone du fourneau. Il ne suffit pas qu'il entre dans l'appareil un volume donné d'air, il faut encore que cet air se répartisse de suite dans l'ouvrage, de manière que la combustion ait, dans tous les points d'une même section horizontale, la même activité, et la température la même élévation.

Ce résultat est-il obtenu généralement?

27. *Expériences de M. Tunner sur la répartition de la chaleur dans l'ouvrage.* — M. Tunner a fait aux hauts-fourneaux d'Eisenerz et de Saint-Stephan (Styrie) quelques expériences pour s'en rendre compte.

Il a introduit dans l'ouvrage, soit par les tuyères, soit par des regards bouchés avec de l'argile, des barres de fer qu'il y laissait pendant une à deux minutes, et qu'il retirait ensuite pour observer approximativement leur température par le degré de chaude qu'avaient pris les diverses parties du fer. La position de la barre dans l'ouvrage étant connue, la température de ses divers points donnait des indications sur la température des points correspondants du fourneau. Il a ainsi constaté des inégalités de température très-évidentes au niveau même des tuyères, et dans la ligne

passant par leur axe. Je citerai un de ces essais dans lequel la barre, allant d'une tuyère à l'autre, a présenté, après un séjour de une minute et quart dans le fourneau, les résultats indiqués par la figure 14. — D'autres essais ont été faits avec des barres recourbées ou inclinées, et ont donné des résultats analogues ; d'où l'on pouvait conclure que le vent sortant des tuyères produisait une zone de combustion assez restreinte suivant sensiblement une direction parabolique qui est celle du courant, zone au milieu de laquelle se trouve la partie la plus chaude. En dehors de ces courants, la température est relativement basse. On voit, en effet, qu'au niveau des tuyères cette zone occupait dans l'expérience faite à Saint-Stephan un espace de $0^m,158$ de diamètre très-rapproché de la tuyère et que tout le centre du fourneau était froid.

28. *Résultats comparatifs de l'emploi de buses de diamètres différents sur la répartition du vent.* — Un résultat, très-intéressant à noter, d'expériences analogues faites à Eisenerz, est que les buses de $0^m,067$ de diamètre placées aux deux costières ont accusé une zone de combustion plus étendue de $0^m,053$ à $0^m,079$ environ, qu'une buse de $0^m,035$ placée à la rustine.

De ces observations, il semble qu'on peut conclure immédiatement, que le vent est fort mal réparti par deux buses, et l'on est tenté de donner raison à ceux qui ont cherché à les multiplier pour arriver à une meilleure répartition. Cependant l'expérience leur a donné tort. M. Truran cite les résultats suivants d'essais faits dans ce sens à Dowlais, résultats qui me semblent très-concluants.

29. *Résultats obtenus de la multiplication des buses.* — En 1847-1848, on remplaça les trois buses existantes à l'un des fourneaux de cette usine, par six buses, deux à chaque embra-

sure, en ayant soin, ajoute M. Truran, de conserver le même volume de vent et la même pression, afin que les changements observés dans l'allure ne pussent être attribués qu'aux modifications apportées dans le mode de distribution du vent.

L'essai dura 15 mois. La consommation moyenne fut de 2,505 kil. de charbon par tonne de fonte, et la production de 14,223 k. de métal par jour. Auparavant, avec 3 buses, une à chaque embrasure, la consommation moyenne, calculée sur un roulement de deux ans, était de 2,265 kil. de charbon, par tonne de fonte, et la production moyenne de 14,658 kil. par jour.

Le résultat de la substitution de 6 buses aux 3 buses préexistantes a donc, en définitive, été : 1° une diminution moyenne de 435 kil. dans la production journalière de fonte, pour la même dépense de vent ; 2° une augmentation de 240 kil. dans la consommation de charbon par tonne de fonte produite, soit, en résumé, une perte de 28,040 tonnes de combustible pour les quinze mois qu'a duré l'essai, perte à laquelle il faut ajouter les pertes secondaires, provenant de la production amoindrie, de la consommation proportionnellement plus forte de vent, du moindre rendement des matières premières, de l'installation plus coûteuse de la distribution du vent.

Dans le Yorkshire, où des modifications analogues ont été faites dans beaucoup d'usines, il n'en est pas une qui ait eu occasion d'observer, à la suite de ce changement, la moindre amélioration d'allure, la moindre économie de combustible ou de matières premières.

30. *Explication de l'infériorité des buses multiples.* — Il faut chercher dans l'examen des phénomènes de combustion qui se passent dans l'ouvrage l'explication de ces résultats. Elle me semble découler naturellement des expériences citées plus haut de

M. Tunner. Ces expériences démontrent que l'axe du jet de vent sortant de la tuyère s'infléchit suivant une courbe de forme parabolique, qui se rapproche d'autant plus de la paroi de l'ouvrage, à pression égale, que le diamètre de la buse est plus petit, d'où résulte que l'espace de combustion qui s'étend circulairement autour de cet axe se rapproche d'autant plus de la paroi, et s'étend d'autant moins, que la buse a un plus petit diamètre. (Fig. 15.)

En remplaçant une buse de section donnée par deux buses moitié moindres, on donne bien le même volume de vent, mais la zone de combustion s'étend à une moindre distance de la tuyère, et l'on augmente, par conséquent, la dimension de l'espace insuffisamment chaud restant au centre de l'ouvrage, et par suite l'inégalité de répartition de la température et tous les inconvénients qui marchent à sa suite.

Les observations pratiques faites sur les nombreux fourneaux anglais soufflés à plusieurs tuyères ont partout montré comme résultat immédiat un échauffement, et par suite une usure considérable des costières, causée justement par la diminution de distance, d'autant plus grande que les buses étaient plus nombreuses et leur diamètre plus petit, entre la paroi de l'ouvrage et la zone de combustion maximum.

En même temps, la zone relativement froide restant au centre de l'ouvrage s'augmente d'autant plus que le nombre des buses est plus multiplié, et cet inconvénient s'accroît encore d'ordinaire par l'accroissement de diamètre que les constructeurs se croient, alors, autorisés à donner à cette partie du fourneau, par suite de la meilleure répartition supposée du vent.

L'usure des parois vient, elle-même, immédiatement augmenter le mal, et l'on arrive à des consommations de combustible ruineuses. C'est alors que, pour parer à l'énorme élargissement de l'ouvrage, on augmente la pression, méthode qui n'a pas de moin-

dres inconvénients, comme nous avons essayé de le prouver plus haut.

31. *Avantages d'un nombre restreint de buses.* — Ainsi, considérée tout d'abord au simple point de vue de la marche des fourneaux, l'augmentation du nombre des buses ne présente aucun avantage, n'améliore en rien l'allure, ne diminue en rien la consommation, et n'y aurait-il qu'égalité, sous ce rapport, avec les buses larges en petit nombre, celles-ci seraient encore préférables, par leurs frais moindres d'installation et d'entretien, les facilités plus grandes qu'elles offrent au travail et à la surveillance, les fuites de vent moins nombreuses, et la consommation d'eau plus faible qu'elles occasionnent, enfin, et ce n'est pas là le point le moins important, par les chances plus restreintes d'arrêts et d'accidents dans la marche à cause des tuyères usées ou brûlées et des pertes d'eau dans le creuset, chances évidemment proportionnelles au nombre de tuyères employées.

32. *Emploi de larges buses.* — Pour obtenir la meilleure répartition possible du vent, il faudra donc employer de larges buses, et, pour cela, en réduire le nombre à deux ou trois au maximum pour les productions ordinaires de 20 à 30 tonnes.

Mais il vaudra mieux garder la troisième comme buse de secours. En réduisant en même temps au minimum les dimensions de l'ouvrage, on pourra réduire au minimum la zone froide centrale dont M. Tunner a démontré l'existence, et se rapprocher le plus possible de la solution désirée de l'égalité de température dans tous les points d'une même zone horizontale.

33. *Influence de la forme des buses.* — La forme elle-même des buses n'est pas indifférente, et je pense avec M. Truran

qu'une buse presque cylindrique sera préférable à une buse de forme conique très-convergente; quoique l'angle du cône n'ait, dans des variations très-étendues, qu'une faible influence sur la valeur du coefficient de débit des buses, ainsi qu'on le voit par les chiffres donnés à ce sujet par M. Péclet, cet angle a une influence considérable sur la répartition de l'air. Plus il est convergent, plus l'air qui en sort est divergent, plus sa pression diminue vite, moins il s'avance vers le centre de l'ouvrage, plus la zone de combustion se rapproche de la paroi. Si la buse est presque cylindrique et les filets gazeux parallèles, une plus grande quantité de vent arrivera jusqu'au centre, et la zone de combustion sera plus étendue.

A ce sujet, sans m'arrêter à la règle empirique par laquelle M. Truran prétend déterminer la conicité des buses en fonction de la largeur du creuset, je crois qu'il faut, dans tous les cas, les faire aussi peu convergentes que le permettront la distance du porte-vent à la tuyère et le diamètre restreint au minimum du porte-vent. — Les tuyaux des porte-vent sont, dans beaucoup d'usines, de diamètres trop grands : $0^m,15$ à $0^m,20$ suffisent pour la tubulure sur laquelle glisse le manchon auquel s'adapte la buse; si, d'autre part, on a soin de placer le porte-vent en dehors de l'embrasure de manière à ce qu'il ne gêne point dans le cas de réparation aux tuyères, la forme qui résultera, pour la buse, de ces dispositions générales sera des plus convenables.

34. *De la position des buses.* — Il faut encore apporter le plus grand soin au choix de la position des buses. Tout d'abord, comme tout le monde le sait, il est bon de diriger les deux buses partant des deux embrasures diamétralement opposées de manière que leurs axes ne coincident pas, mais passent parallèlement l'un à l'autre de chaque côté de l'axe du fourneau. De cette manière, les

deux jets ne se gênant pas l'un l'autre pourront pénétrer plus loin et auront chance de produire une meilleure répartition de la combustion.

Mais de plus, il faut que cette direction ne soit jamais ascendante, mais toujours horizontale ou même un peu plongeante, pour parer à la tendance qu'a la courbe décrite par le jet de vent à se relever vers la costière.

35. *De la forme et de la dimension des tuyères.* — Un point important est encore la détermination de la forme de la tuyère, du rapport de ses dimensions à celles de la buse, et de leurs positions relatives.

Il est rare de passer près d'un fourneau marchant à tuyère ouverte, sans que l'on puisse observer qu'une partie de l'air lancé refuse de pénétrer dans le fourneau et se répand en pure perte dans l'embrasure. — En termes de métier, les tuyères refoulent.

C'est pour éviter cet inconvénient que beaucoup d'usines marchent à tuyères fermées.

Mais on reproche à ces tuyères d'être mal commodes à surveiller et de gêner le travail. La difficulté de les piquer et de les nettoyer au ringard rend les ouvriers paresseux à cette manœuvre, et le travail en souffre.

Quelquefois le refoulement des tuyères est dû à un engorgement partiel devant l'orifice si le fourneau est en allure froide; mais bien souvent, en bonne allure, il y a un refoulement permanent dû aux vices de forme ou d'installation de l'appareil. L'extrémité de la buse est d'ordinaire à $0^m,100$ ou $0^m,150$ en moyenne en arrière de l'orifice de la tuyère. Il se produit, d'ailleurs, immédiatement au sortir de la buse une dilatation de l'air; si donc l'orifice de la tuyère n'est pas plus grand que celui de la buse d'une quantité au moins égale à celle qui est nécessaire au libre passage de l'air

dilaté, il ne pourra débiter la totalité du volume fourni par la buse, et l'excédant devra sortir par le vide annulaire restant entre la buse et la tuyère.

Dans certains cas, le refoulement se produit, malgré un diamètre suffisant de l'orifice de la tuyère par rapport à celui de la buse, par suite de l'obliquité de l'axe de la tuyère relativement à l'axe de la buse. Alors une partie des filets gazeux peut venir frapper la paroi de la tuyère; et, si l'angle est assez grand, une partie de l'air est chassée au dehors.

Si, la buse et la tuyère étant bien placées, et le rapport de leurs diamètres convenable pour que l'air débité par la buse passe par la tuyère sans refoulement, on vient à reculer la buse, et à augmenter ainsi la distance entre son orifice et celui de la tuyère, le refoulement peut encore se produire.

Inversement, on pourra, dans certains cas, le faire cesser en avançant davantage la buse dans la tuyère. Ce procédé sera surtout utile au cas où l'on viendrait à augmenter le diamètre des buses, ce qui se fait sans changer les tuyères, si celles-ci sont en bon état, à la condition toutefois que leur orifice soit plus grand que celui de la buse nouvelle.

Il importe donc, pour éviter les refoulements et les inconvénients qui en résultent, pertes de vent et mauvaise répartition de la combustion, de donner aux tuyères des dimensions plus fortes qu'aux buses; et, de même que pour celles-ci, il faut que le cône soit aussi peu convergent que possible.

36. *Tuyères concentriques de M. Truran.* — C'est ici le lieu de parler d'un système de tuyères inventé et préconisé par M. Truran. J'ignore s'il a été appliqué, et si les résultats ont répondu aux idées de l'auteur.

Ces tuyères se composent de deux tuyaux concentriques. Le

vent sort à la fois par le tuyau central et par l'orifice annulaire qui l'entoure. Dans les idées de l'auteur, le vent du tuyau central, cylindrique ou même un peu évasé, pénétrera facilement jusqu'au centre du creuset, tandis que le vent du tuyau annulaire, par suite de la divergence des filets gazeux, des frottements plus grands auxquels il est soumis et des pertes de charge qui en résultent, s'éloignera moins de la tuyère, alimentera la combustion près des parois, et établira une plus grande uniformité de température. — Ce système est assez ingénieux : on peut lui reprocher toutefois d'être assez complexe, et il me semble, d'ailleurs, que le but cherché pourrait être facilement atteint sans aucun appareil nouveau dans tous les fourneaux, par une détermination convenable des dimensions relatives des buses et des tuyères.

Si la dimension de l'orifice de celle-ci est assez grande, et sa conicité assez faible, le mouvement de l'air sortant de la buse pourra déterminer un appel d'air atmosphérique par l'orifice annulaire restant tout autour du tuyau de la buse; mais ce serait aux dépens de la pression de l'air lancé par le tuyau central dont la vitesse serait diminuée, et qui pénètrerait lui-même moins loin dans l'ouvrage. Je crois préférable de s'en tenir aux formes, dimensions et positions relatives qui ne produiront ni refoulement ni aspiration.

37. *Nécessité d'appuyer les conclusions sur l'étude complète de toutes les influences agissant sur la marche des fourneaux.* — Nous avons essayé de dégager de la théorie et de l'expérience la connaissance des influences respectives, sur la marche des hauts-fourneaux, des variations de volume, de pression et de température du vent. Nous avons cherché comment le problème de la répartition était résolu par les divers procédés en usage, et nous avons déjà tiré de ces diverses études quelques conclusions par-

tielles. Mais, de quelque importance que soit, dans la conduite des hauts-fourneaux, le bon emploi du vent, son influence peut être aidée ou contrariée par les autres influences de toute nature qui agissent sur l'opération. Avant de conclure, il faut donc examiner, chacune à leur tour, ces diverses influences.

§ III. DISCUSSION DES FORMES INTÉRIEURES.

38. *Quelle est l'influence des formes intérieures?* — Nous allons essayer, d'abord, de déterminer quelle part d'influence revient, dans les phénomènes si complexes dont le fourneau est le théâtre, aux formes elles-mêmes de ses diverses parties.

39. *Dimension du creuset et de l'ouvrage.* — Nous avons vu plus haut quels inconvénients résultent de l'accroissement de volume du vent, lorsque l'ouvrage reste fixe. Nous avons vu, d'ailleurs, comment l'accroissement de volume de l'ouvrage, résultat de l'accroissement de volume du vent, nécessite, pour l'obtention d'une bonne répartition de la température, un accroissement de la pression, lorsqu'il est obtenu par l'augmentation des dimensions transversales.

Les inconvénients des fortes pressions sont grands. Ceux des ouvrages larges ne résultent pas moins évidemment des expériences citées plus haut sur la répartition de la combustion.

D'autre part, les résultats comparatifs des anciens creusets de $0^m,900$ à $1^m,000$ de diamètre, soufflés à des pressions de $0^m,070$ à $0^m,100$ de mercure, et des grands creusets modernes de $1^m,800$, à $2^m,440$, soufflés à $0^m,260$ et $0^m,311$, ne laissent aucun doute sur l'avantage des petites sections.

C'est donc par l'augmentation des dimensions verticales, et non des dimensions transversales, qu'il faudra obtenir l'accroissement de volume de l'ouvrage. Un ouvrage élevé est dans de

meilleures conditions qu'un ouvrage bas, pour une bonne répartition de la combustion. A une certaine hauteur, le mélange des courants, par suite de leurs réflexions successives sur les parois, est suffisant pour établir une certaine uniformité d'action chimique et de température vers la fin de la zone de combustion, et l'on a moins de chance de voir se produire ces zones de combustion restreintes, qui laissent, dans toutes les sections horizontales, des espaces non atteints, permettant à une partie des matières de traverser l'ouvrage sans se fondre complétement.

Plus les dimensions transversales de l'ouvrage sont faibles, plus grandes sont les chances de bonne répartition du vent et d'égale combustion dans tous les points. Plus la température y est forte, moins la zone de combustion s'élève. Il faut donc le réduire au minimum, et ce minimum est déterminé par la production, d'où résulte la capacité à donner au creuset qui doit être suffisamment grand pour ne pas nécessiter des coulées trop multipliées. L'inconvénient de la multiplication des coulées est, d'ailleurs, beaucoup plus faible que celui d'un surcroît permanent de consommation de combustible, résultant des dimensions trop grandes de l'ouvrage.

Je crois donc prudent de ne pas trop dépasser la limite de $1^m,000$. Ce diamètre suffit à des productions de 24 à 30 tonnes par jour, avec une organisation convenable des coulées. La haute température de l'ouvrage permet, dans ce cas, d'augmenter sans inconvénient la hauteur du bain de fonte et les dimensions de l'avant-creuset, ce qui est une certaine compensation à ce que l'on perd en surface.

L'inclinaison des parois de l'ouvrage doit être telle que la différence de ses sections inférieure et supérieure soit faible. Un certain évasement facilite, il est vrai, le glissement régulier des matières; mais, trop fort, il facilite la dispersion des courants

gazeux, et nuit à la bonne répartition des actions chimiques; l'ouvrage doit donc conserver une faible section jusqu'à la limite supérieure de la zone de combustion, c'est-à-dire sur toute sa hauteur.

J'ajouterai quelques mots seulement sur la forme de la section. — Quelques constructeurs emploient encore la forme carrée sous prétexte d'économie sur l'appareillage des matériaux. C'est une économie peu importante, que détruit en partie l'excès même de matériaux employés dans ce cas, et que l'on paie par des excès de consommation de combustible, d'une valeur bien supérieure. — La forme ronde est bien préférable sous le rapport de la répartition de la chaleur; elle est indiquée d'ailleurs par la pratique elle-même. C'est celle que les creusets et ouvrages non circulaires finissent par prendre en marche, soit par voie de corrosion, soit par voie de remplissage et d'empâtement, soit enfin par les deux actions combinées, après un certain temps de marche; mais cette modification ne se produit jamais sans dépense inutile de combustible, et souvent la forme ainsi obtenue est défectueuse par ses dimensions exagérées, ou même par des irrégularités dans les actions d'usure et de remplissage, et elle amène à sa suite tous les inconvénients que nous avons eu plusieurs fois l'occasion de signaler.

40. *Formes des étalages.* — Pour les étalages, la seule question à examiner est celle de leur pente. Il existe des fourneaux sans étalages, où ceux-ci se confondent avec l'ouvrage et qui, soit en allure de fonte blanche, soit en allure de fonte grise, fonctionnent parfaitement. Mais, dans les grands fourneaux destinés à de fortes productions, la nécessité d'avoir à la fois un grand volume intérieur et un ouvrage assez étroit, rend nécessaire l'emploi des étalages, dans le seul but de raccorder l'ouvrage à la cuve par une transition assez ménagée pour empêcher le bou-

leversement des charges. La hauteur des étalages et la position du ventre sont sans influence aucune, et les étalages les meilleurs seront ceux qui, sans trop diminuer le volume intérieur de l'appareil, auront une pente assez forte pour que la transition de la grande section du ventre à la petite section de l'ouvrage soit lente et ne produise aucune perturbation notable dans la descente des matières.

Des étalages à pente faible ont la plus fâcheuse influence sur la répartition des matières dans les charges en mouvement. — S'ils sont presque plats, comme dans certains fourneaux du Hartz, (Fig. 16) ils arrêtent complétement la descente d'une partie des matières, et il se forme au milieu d'elles un cône dans lequel a lieu la descente des charges; ainsi l'équilibre tend à se rétablir. Cependant les frottements énormes des matières en mouvement sur les matières fixes tendent à déformer les charges, en même temps que le passage plus facile offert aux gaz dans les matières arrêtées, où le coke doit prédominer, assure la mauvaise répartition de ceux-ci.

Dans les fourneaux où les étalages ont une pente plus grande, mais encore insuffisante, 45° par exemple, la pente est trop forte pour qu'une partie des matières puisse s'y arrêter complétement et cesser de participer au mouvement de descente général, mais elle est trop faible pour ne pas produire des frottements considérables sur les matières descendantes. Les charges tendent alors à prendre une forme conique irrégulière, se rapprochant de celle des étalages, et la conséquence de cette déformation est encore une grande irrégularité de répartition des matières. (Fig. 17.) — Cet effet diminuera à mesure que la pente des étalages les redressera davantage. (Fig. 18.) Il serait très-peu de chose dans un tuyau cylindrique. (Fig. 19.) Mais comme on est arrêté de ce côté par la nécessité de laisser un grand volume intérieur à

l'appareil, il faut choisir une pente intermédiaire entre 45° et 90°. Celles de 60° à 70° me paraissent satisfaire à la fois aux deux exigences du problème. Elles sont suffisantes pour offrir peu de prise aux accrochages; elles sont moins vite déformées et rongées que les pentes plus faibles, et assurent une plus longue conservation à la forme primitive de l'ouvrage.

Ainsi, du haut de celui-ci, deux lignes à 70° détermineront le profil des étalages, et le ventre se trouvera n'importe où, à l'intersection de ces lignes avec celles qui détermineront le profil dans le plan diamétral du cylindre de la cuve.

41. *Formes de la cuve et dimension des gueulards.* — La forme universellement employée pour la cuve est celle d'un tronc de cône dont la base la plus large forme le ventre, et la base étroite l'orifice d'introduction des matières, le gueulard. Le rapport du diamètre du gueulard à celui du ventre n'a jamais été déterminé par des considérations bien sérieuses.

Les habitudes locales, quelques idées fausses et quelques autres motifs sur lesquels je reviendrai, ont longtemps fait prévaloir les gueulards étroits.

42. *Tendance générale à l'accroissement de plus en plus grand des gueulards.* — Cependant, dans tous les pays, une réaction générale se produit depuis quelques années contre cette vieille coutume, et l'on tend tous les jours à élargir de plus en plus les gueulards.

Le rapport du diamètre du gueulard à celui du ventre était anciennement 1/4. Quelques vieux fourneaux au bois, de France, quelques fourneaux anglais du Straffordshire et du Derbyshire restent encore comme spécimen de ce vieux type. Des rapports beaucoup plus employés étaient ceux de 1/3 à 2/5, entre lesquels sont compris les gueulards de la plupart des usines françaises et

de bon nombre d'usines anglaises. Cependant, depuis une quinzaine d'années, à Aubin et à Montluçon en France; depuis vingt à vingt-cinq ans en Écosse, depuis fort longtemps en Styrie et Carinthie, et enfin en Suède, on a franchi ces limites et l'on s'est élevé à 1/2, puis 3/5 et plus. — Les fourneaux au bois, de Suède, fabriquant les fontes à acier, ont des cuves presque cylindriques. — Les résultats obtenus en s'engageant dans cette voie ont été tels que la tendance à l'élargissement des gueulards a continué, et, il y a six ans environ, on expérimentait en Écosse un fourneau de 16^{m},78 de hauteur; 3^{m},05 au bas des étalages, 4^{m},88 au ventre, 5^{m},49 au gueulard, dont les résultats très-satisfaisants avaient déterminé les auteurs de cet essai à renouveler cette tentative dans le district du pays de Galles. C'est qu'en effet ce rapport a sur la marche de l'appareil une importance, qui, pendant longtemps, n'a pas été soupçonnée, et que je démontrerai plus loin par un exposé de faits et par quelques considérations théoriques.

43. *Motifs de l'adoption des gueulards étroits par les anciens fondeurs.* — Mais c'était autrefois une règle de la construction des fourneaux de ne pas dépasser le rapport de 1/3.

Quels motifs donnait-on à l'appui de cette pratique? Quelles idées avaient conduit à l'adoption de ce rapport? L'une d'entre elles était la conviction, malheureusement mal fondée, que cette forme concentrait et augmentait la chaleur dans les parties inférieures du fourneau, en créant, par un rétrécissement du gueulard, un obstacle à la sortie des gaz, et que l'on obtenait, par là, un meilleur effet utile du combustible. Nous montrerons plus loin la valeur de cette supposition. — Il est vrai que, de cette façon, le gueulard était beaucoup plus chaud; mais une forte chaleur est inutile dans les parties supérieures de la cuve; elle augmente la dépense de combustible sans aucun résultat avantageux.

On croyait encore assurer ainsi l'homogénéité du mélange des matières dans le fourneau et leur égale répartition, si essentielle à la bonne marche de l'opération.

On y avait été conduit enfin par les conditions même de service de l'appareil.

Avant que l'on recueillît et utilisât les gaz des fourneaux, tous ces appareils marchaient à gueulard ouvert, vomissant des torrents de flammes dont on protégeait les ouvriers par des cheminées se prolongeant en dessus du toit des batailles. Le chargement se faisait par deux ou trois ouvertures réparties autour de cette cheminée, au moyen de mannes, de rasses ou de couches contenant 15 à 25 kil. de matières, dont les chargeurs venaient lancer le contenu dans le gueulard en se présentant successivement à chacune des ouvertures pour répartir à peu près uniformément la charge. Dans quelques usines, des wagons à bascule remplaçaient le chargement à la main. Mais, en admettant même beaucoup de soin de la part des ouvriers à égaliser les matières avec un rable, tous ces modes de chargement, déjà défectueux, auraient donné des résultats bien plus mauvais encore avec de larges gueulards. On ne pouvait donc adopter ceux-ci sans modifier en même temps les modes de chargement, sous peine de non-réussite.

Les gueulards étroits étaient le résultat nécessaire des procédés de chargement employés. Du jour où on les a modifiés, on a pu renoncer aux anciennes règles et accroître leurs dimensions. Je ne puis donner de meilleure preuve de l'excellence de cette pratique, que l'exposé des résultats obtenus de quelques-unes des tentatives faites dans ce sens.

44. *Résultats de l'accroissement de diamètre des gueulards*, — En 1847, à Montluçon, M. Coingt porta le diamètre du gueu-

lard de l'un des fourneaux de $2^m,000$ à $2^m,500$. Les résultats obtenus se montrèrent tout de suite bien supérieurs à ceux des autres fourneaux, de la même usine, conservés avec le gueulard de $2^m,000$. — L'évidence des résultats obtenus entraîna de suite ceux qui avaient marché dans cette voie à pousser plus loin leurs essais, et, en 1850, les dimensions des gueulards furent portées à $2^m,750$ à certains fourneaux de Montluçon, et à $3^m,000$ à l'un des fourneaux de Commentry.

En 1855, aux hauts-fourneaux d'Aubin, alimentés par des minerais oolithiques pauvres, très-chargés d'alumine et de chaux et rendant 20 à 22 p. 100 au fourneau, on obtenait une production de 150 à 200 tonnes par mois, soit 5,000 kil. à 6,600 kil. de fonte par jour, avec une consommation de 3,200 kil. à 3,600 kil. de coke par tonne de fonte; le diamètre du ventre était de $4^m,500$, celui du gueulard de $2^m,000$, ce qui donne un rapport de 4/9 ou 0,444.

M. Coingt réduisit le ventre à $4^m,100$ et porta le gueulard à $2^m,800$, ce qui donnait un rapport de $0^m,683$, et put aussitôt porter la production à 450 tonnes par mois, soit 15 tonnes par jour, tout en réduisant les consommations de coke à 2,500 kil. et 2,200 kil. par tonne de fonte. Ainsi, avec une consommation de combustible plus faible de 1/3, la production avait été triplée.

Les essais continués à Montluçon et Commentry, où l'on traite des minerais en grains du Berry rendant de 35 à 40 p. 100 au fourneau, amenèrent la production mensuelle de 330 et 360 tonnes à 550 et 600 tonnes, même en fonte de moulage, tout en réduisant la consommation de coke. Enfin, les derniers résultats obtenus, depuis la fin de 1859, dans ces mêmes fourneaux sont des productions de 800 tonnes par mois, soit 26,000 à 27,000 kil. de fonte par jour, avec une allure régulière et une constante économie sur les anciennes consommations de combustible.

M. Coingt a encore fait construire des fourneaux au bois avec

des cuves complétement cylindriques de $2^m,500$ et de $2^m,800$ de diamètre et a encore obtenu des productions plus fortes que toutes les productions antérieures, avec de grandes économies dans la consommation de charbon.

En 1857, aux hauts-fourneaux de Saint-Louis, avec un mélange d'hématites et minerais oligistes de l'île d'Elbe et de fers carbonatés d'Espagne, rendant en moyenne 55 p. 100 au fourneau, on obtenait de la fonte grise de moulage pour marchandises avec 1,400 kil. de coke par tonne de fonte, le diamètre au ventre étant de $4^m,000$, le diamètre du gueulard de $1^m,600$ (rapport = 2/5).

En portant le diamètre du gueulard à $2^m,000$ (rapport = 1/2), nous avons pu obtenir les mêmes qualités de fonte avec une consommation de 1,050 kil. de coke par tonne de métal.

A Dowlais, près Merthyr-Tydwill, on emploie des fers carbonatés mélangés, provenant de toutes les couches du pays, et connus sous le nom générique de Welsh mines, rendant de 28 à 35 p. 100 de fer, et des hématites rouges concrétionnées à guangue siliceuse (*red-ores*) rendant 49 à 60 p. 100 de fer. Ces minerais sont traités à la houille. Avec les anciennes formes et le rapport de 1/4 entre le diamètre du gueulard et celui du ventre, la consommation moyenne de houille par tonne de fonte dépassait six tonnes. En portant ce diamètre à 1/3 de celui du ventre, tout en augmentant la pression, elle s'abaissa de 6,000 kil. à 4,000 kil. En le portant à 1/2, on abaissa la consommation à 2,000 kil. — Quelle que soit dans ces résultats l'influence de toutes les autres conditions de l'allure, les résultats sont trop directs et trop constants, pour ne pas les attribuer surtout à cette modification.

A côté des faits précédents, on peut citer les résultats d'expériences inverses qui paraissent fort concluantes.

Dans la même usine de Dowlais, se trouvait un haut-fourneau de $5^m,490$ diamètre au ventre, $2^m,740$ diamètre au gueulard (rap-

port = 1/2). (Fig. 20), qui, avait été 15 ans en feu, en donnant en moyenne 97,530 kil. fonte par semaine, soit 13,933 kil. par jour, avec une consommation moyenne de 2,250 kil. houille par tonne. Dans une nouvelle campagne on réduisit le gueulard, en modifiant la courbure de la partie supérieure de la cuve à 1^m,83 soit 1/3 du diamètre au ventre. La marche devint irrégulière; la consommation varia de 3,500 kil. à 4,500 kil. de houille par tonne de fonte; les produits obtenus furent de mauvaise qualité; la perte de fer dans les laitiers, considérable; et la production ne put dépasser 50,707 kil. à 71,116 kil. par semaine, soit 7,257 kil. à 10,159k. par jour. — On résolut alors de remettre le fourneau dans l'état primitif sans interrompre sa marche. On laissa descendre les charges, et l'on reconstruisit la partie supérieure en donnant 2^m,900 de diamètre au gueulard. Pendant la descente des charges on put remarquer déjà ce fait singulier, qu'en maintenant la charge à 2^m,300 en moyenne au-dessous du gueulard la consommation et la production s'amélioraient, la première se réduisant à 2,500 kil. houille par tonne de fonte, la seconde s'élevant à 13,062 kil. de fonte par jour. — On a plusieurs fois pu observer des faits analogues dans des fourneaux à orifice étroit, qui ont donné de meilleurs résultats en tenant le niveau des charges à une certaine distance au-dessous des gueulards. Après sa réparation, le fourneau de Dowlais avait un gueulard de 2^m,90, ce qui donnait 5/9 ou 0,528 pour le rapport au diamètre du ventre. — La production s'éleva pendant plusieurs mois à une moyenne de 162,550 kil. par semaine, soit 23,221 kil. par jour, avec une consommation réduite de combustible, une marche régulière et un bon rendement des minerais.

45. *Traduction graphique des résultats de la substitution des gueulards larges aux gueulards étroits, et vice versa.* — Tous

ces faits, dont une partie se trouve traduite graphiquement par la figure 21 semblent montrer de la manière la plus probante que l'élargissement des gueulards est bien, pratiquement, la source d'une économie considérable de combustible, et la loi de décroissance des consommations, qui semble résulter de l'examen de cette figure montre ce qu'il y aurait encore à espérer d'un accroissement nouveau des dimensions de l'orifice du fourneau.

Aussi M. Truran, ancien ingénieur des usines de Dowlais, n'a-t-il pas hésité à pousser ces essais aux dernières limites, et à proposer des cuves évasées par la partie supérieure.

46. *Explications théoriques sur l'inconvénient des gueulards étroits.* — Il est utile maintenant de rechercher dans la théorie l'explication des résultats acquis par l'expérience. C'est ce que nous allons essayer de faire.

Le premier et le plus grave inconvénient des gueulards étroits est d'amener presque infailliblement une très-mauvaise répartition des charges.

Le minerai est, d'ordinaire, en fragments beaucoup plus petits que le coke ; quelquefois il est en grains, quelquefois même presque en poussière. Sa forme, ses dimensions, sa densité lui donnent beaucoup de facilité pour glisser à travers les morceaux de combustible que leur forme irrégulière, leur surface couverte d'aspérités, et leur faible poids spécifique, retardent dans leur descente.

D'autre part, l'abaissement général des charges, résultant du vide produit incessamment dans l'ouvrage par la combustion ou la fusion des matières qui s'y trouvent, n'est pas régulier sur toute la surface de chacune des zones horizontales de matières, mais se produit surtout au centre du fourneau, dans un tronc de cône dont le gueulard et le sommet de l'ouvrage sont les deux bases.

Les expériences faites à Turrach par M. Tunner père, que l'on peut voir décrites *in extenso* dans la *Revue Universelle*, 4e année, 7e volume, pages 132 et suivantes, viennent à l'appui de cette théorie, ainsi que les observations récemment faites à Malapane par MM. Wachler, inspecteur en chef des usines de Malapane, et MM. Stahlschmidt, directeur de l'usine, et les travaux de divers métallurgistes prussien.

Les charges tendent donc à prendre une forme concave et le minerai à glisser vers le centre de la concavité, en prenant de plus en plus d'avance sur le coke; il se forme au centre du fourneau une colonne descendante de matières dans laquelle le minerai prédomine, tandis que tout l'espace annulaire circonscrit est rempli de matières cheminant avec une vitesse moindre, dans lesquelles le coke est presque seul, surtout près des parois. (Fig. 22.)

La conséquence de cette disposition des matières est évidente.

Les gaz produits dans l'ouvrage, trouvant un passage plus facile à travers l'anneau extérieur de coke qu'à travers la colonne centrale de minerais, s'écouleront le long des parois, et seront perdus pour la réduction. L'espace utile du fourneau sera en réalité réduit à la colonne descendante centrale, où passera une faible quantité de gaz réducteurs, et l'on sera obligé de diminuer la proportion de minerai, ou d'augmenter celle de charbon, jusqu'à ce que l'excès de gaz réducteurs dans le fourneau soit tel, qu'il en passe assez dans la colonne centrale pour la réduction des oxydes.

Ne voit-on pas déjà évidemment combien on améliorerait le fourneau en réduisant son volume intérieur au tronc de cône ABCD. La vitesse de descente des charges serait bien un peu grande, mais l'utilisation des gaz réducteurs serait meilleure, la charge porterait plus de minerai, et la production pourrait rester égale, en devenant à coup sûr plus économique.

47. *Les gueulards étroits sont trop chauds.* — Un second inconvénient des gueulards étroits réside dans la haute température qui y règne pour peu que la pression atteigne $0^m,100$ ou $0^m,120$ de mercure, et *à fortiori* si elle dépasse cette limite. Il est d'abord évident, que, même en recueillant les gaz, on perd à peu près complétement toute la chaleur que ceux-ci auraient cédée aux matières à préparer, s'ils étaient sortis à une température moindre, chaleur qu'ils cèdent aux tuyaux de conduite, au grand détriment de leur conservation, sans que leur effet utile, et surtout leur effet utilisé, en soient sensiblement accrus.

M. Truran, comparant ces phénomènes à ceux qui se passent dans un foyer de générateur, suppose que, dans ce cas, il se produit au gueulard une consommation de combustible d'autant plus grande, que, par l'étroitesse du gueulard, la vitesse de sortie des gaz est plus rapide.

Cette comparaison me semble vicieuse, et je ne saurais partager cette opinion, à moins que, par cette consommation de combustible, le métallurgiste anglais veuille entendre la conversion d'une proportion un peu plus forte d'acide carbonique en oxyde de carbone, facilitée par la haute température qui règne alors en ce point du fourneau. Cette conversion serait, en effet, la cause d'une légère augmentation de consommation du combustible, mais elle serait, non pas la cause, mais le résultat de l'élévation de température du gueulard, qu'elle tendrait au contraire à diminuer par la chaleur qu'absorbe cette réaction chimique.

Il est évident, d'autre part, qu'avec la théorie précédemment développée dans les considérations générales, on ne saurait admettre la production au gueulard d'une véritable combustion, dans le sens ordinaire de ce mot.

La véritable cause de cette élévation de température réside, d'une part, dans l'excès de pression à donner au vent, à mesure

que l'on réduit l'orifice d'écoulement par lequel doit sortir, en un temps donné, un volume déterminé de gaz, de l'autre, dans le volume plus faible de matières auxquelles le gaz cède sa chaleur en les traversant, le volume de la cuve étant moindre et par ses dimensions et par l'accroissement de la zone de fusion.

48. *Observations sur la température des gueulards :* — M. Truran a observé à la partie supérieure de fourneaux, dans lesquels le rapport des diamètres du gueulard et du ventre était 1/2, des températures de 483° à 538°, la pression étant de $0^m,160$.

J'ai trouvé moi-même, comme je l'ai dit plus haut, avec le même rapport de 1/2, et une allure de fonte grise comme dans l'exemple cité par M. Truran une température de 120°c à 170°, selon que la charge était haute ou basse, la pression étant de $0^m,065$. Cette mesure a été prise dans la trémie au centre d'un filet gazeux s'échappant par un orifice percé dans le couvercle. Je n'ai pu mesurer cette température dans les tuyaux d'échappement du gaz, où elle était sans doute plus forte ; mais, autant que l'on en pouvait juger par la température extérieure du métal des tuyaux, elle était fort loin d'atteindre le chiffre cité par M. Truran ; aussi la pression était-elle beaucoup plus faible que dans le fourneau de Dowlais.

Je n'insisterai pas sur un autre inconvénient des gueulards étroits, l'usure assez considérable de la cuve à la partie supérieure. Cet inconvénient est faible, et n'a qu'une valeur insignifiante à côté des autres résultats signalés plus haut.

Je m'abstiendrai également de discuter la méthode employée, à ce qu'il paraît, par certains fondeurs anglais pour obtenir un gueulard froid, celle de mouiller le coke avant son introduction dans le fourneau. Si leur unique but est de refroidir le gueulard, on ne peut contester que ce but soit atteint.

49. Objections faites à l'emploi des larges gueulards. — Inconvénients supposés. — La discussion précédente semble montrer d'une manière évidente l'avantage des gueulards larges. Cependant il a été fait à leur emploi, par un assez grand nombre de métallurgistes, plusieurs objections qu'il est bon d'examiner.

On a, par exemple, exprimé la crainte que, les minerais restant stratifiés plus uniformément dans la cuve, le vent n'ait plus la force de traverser le mélange sur lequel il doit opérer, surtout si celui-ci est composé de minerais terreux. Cette crainte n'est pas une objection sérieuse; si le vent a de la peine à passer, il y a plusieurs remèdes faciles, l'augmentation de la pression, ou la diminution de hauteur de l'appareil. Quand à la stratification uniforme du minerai dans la cuve, c'est justement ce qu'il faut chercher à obtenir à tout prix, si l'on tient à une faible consommation de combustible, et à une bonne allure. Et il ne faut pas croire que cette augmentation de pression nécessite un accroissement bien considérable de la force des machines soufflantes. Le vent est proportionnel au combustible brûlé, et, à production égale, économiser le combustible c'est économiser la dépense de vent. On comprend donc qu'il soit possible d'augmenter, dans une certaine mesure, la pression du vent avec la même dépense de force, si, d'autre part, le volume de vent à fournir est diminué.

Quelques ingénieurs pensent encore que les gueulards larges présentent, avec le mode ordinaire de chargement et de prise de gaz, des difficultés d'autant plus grandes que les combustibles sont moins denses et que la haute température produite au gueulard, surtout avec les combustibles légers, rend le chargement difficile, détruit et obstrue les appareils, favorise la production d'accrochages ou amas de matières sur les parois de la cuve, entraînant comme conséquence le renversement des charges et leur descente oblique.

Ces reproches sont graves, mais ce sont justement ceux que j'adresse aux gueulards étroits.

A pression égale, la température sera plus forte au gueulard avec un combustible léger qu'avec un combustible dur, quelle que soit la dimension du gueulard. Mais à combustible égal et à pression égale, un gueulard large sera plus froid qu'un gueulard étroit.

50. *Explication des effets obtenus des larges gueulards.* — Si le diamètre du gueulard augmente, le volume de la cuve et celui des matières à chauffer augmente. Donc, la même quantité de gaz donnera une température moindre après s'être refroidie au contact d'une plus grande quantité des matières, ou bien la même température correspondra à une quantité de vent plus grande et par suite à une production plus forte.

D'autre part, les charges restant plus longtemps dans le fourneau, à production égale, s'y préparent mieux, et les gaz, opérant sur une plus grande quantité de matières, donnent plus d'effet utile. De là, économie de combustible.

Pour juger de la valeur de ces effets, prenons un exemple. Comparons entre eux deux fourneaux ne différant que par le diamètre du gueulard; l'un d'eux, ayant une cuve tronconique avec le rapport 1/2 entre le diamètre du gueulard et celui du ventre, l'autre ayant une cuve cylindrique avec le rapport 1. (Fig. 23 et 24.)

La cuve cylindrique A, de 10 mètres de hauteur et de 4 mètres de diamètre, offre un volume de $125^{mc},664$.

La cuve tronconique B, de 2 mètres de diamètre à l'une de ses extrémités et 4 mètres à l'autre, a un volume de $76^{mc},637$. — Le rapport des volumes $\frac{A}{B} = \frac{5}{3}$. L'excédant du volume A sur le volume B est donc 2/3 B. Le volume total du fourneau est accru

de moitié. Il contient donc une fois et demie autant de matières soumises dans le même temps aux actions réductrices.

A production égale, leur temps de séjour dans l'appareil sera accru dans le même rapport.

Comment en résulterait-il une augmentation de température des parties supérieures de l'appareil ?

Voyons maintenant ce que va devenir le reproche si grave du renversement et de la descente oblique des charges.

Cherchons ce que va devenir une charge donnée dans les deux cas.

Supposons-lui un volume de 1 mètre cube. Dans la cuve A, elle occupe au gueulard une surface de $12^{m2},5664$ et présente une épaisseur de $0^{m},08$. Au ventre, sa surface est la même ; son épaisseur n'est diminuée que par le départ d'une partie des matières par le fait des réactions chimiques ; mais, s'il n'existait aucune cause de perturbation préalable, c'est-à-dire s'il y avait une bonne répartition des charges précédentes au moment de l'introduction de la charge nouvelle, quel motif aurait pu troubler sa descente? Elle n'a eu qu'à s'abaisser verticalement, sans changement de forme, à mesure que les matières inférieures s'écoulaient à l'état liquide ou gazeux. Si la répartition des matières est bien faite au gueulard, elle restera telle jusqu'au ventre.

Dans la cuve B, la surface du gueulard étant de $3^{m2},1416$, la charge a sensiblement la forme d'un cylindre de $3^{m2},1416$ de base sur $0,^{m}32$ de hauteur. Pour que la répartition des matières dans l'appareil reste convenable, il faut qu'au ventre cette charge soit arrivée à se transformer en un cylindre de $12^{m2},5664$ de surface et de $0^{m},08$ d'épaisseur, en négligeant la réduction de volume due à la combustion, et que ce cylindre lui-même soit composé de deux couches parallèles de minerai et de combustible.

Comment supposer, en admettant même une parfaite régularité

des formes, une égale combustion dans tous les points, et une parfaite répartition des matières au moment initial, que ce changement de forme puisse s'opérer sans changement dans la répartition.

Nous avons déjà dit comment les choses se passaient alors. La résistance de frottement contre les parois agit pour retarder la partie des couches qui se trouve en contact avec elles.

Cette action est d'autant plus forte que la section est plus petite, et par suite le rapport du périmètre à la surface plus grand. La circonférence du gueulard A n'est que le double de celle du gueulard B, tandis que sa surface est quadruple.

Les matières tendent à s'accélérer au centre; le coke, glissant plus difficilement, est plus soumis aux actions retardatrices ; le minerai prend l'avance, et coule au centre en abandonnant le coke. De là, le minerai arrivant non réduit au bas du fourneau, la température trop forte aux parois et leur usure trop rapide, la mauvaise répartition de la température, par l'inégalité de répartition des courants gazeux et des actions chimiques, les accrochages et toute la série d'accidents qu'ils entraînent à leur suite.

Dans un mémoire publié il y a deux ans sur les causes de perturbation dans la marche des hauts-fourneaux dont on recueille le gaz, M. Parry, métallurgiste anglais, suppose qu'avec un large gueulard les gaz se portent surtout aux parois, tandis que dans le cas d'un gueulard étroit, ils montent surtout au centre, en abandonnant la circonférence, vers laquelle ils sont rappelés par les prises de gaz. En conséquence, il propose l'emploi d'un chargement au centre dans le cas de gueulards étroits, l'emploi d'une prise de gaz centrale dans le cas de gueulards larges. Je crois avoir assez démontré que l'hypothèse de M. Parry, dans le cas d'un gueulard étroit, est fausse; que l'accumulation du coke à la circonférence tend à y faciliter le passage du gaz et l'y appelle, et que, le mi-

nerai tendant à couler au centre, le chargement au centre est un moyen encore plus certain d'arriver à un résultat désastreux.

Dans le cas d'un gueulard large, le rapport plus faible du périmètre à la surface de la section horizontale en même temps que la distribution plus régulière des matières tendent au contraire à diminuer les chances d'appel du gaz à la circonférence. Cet appel ne saurait donc être le motif d'une objection, puisque, si son inconvénient est réel, il est, en tout cas, diminué par le fait même de l'élargissement.

Quant à l'emploi de la prise de gaz centrale, c'est une idée qui a reçu depuis plusieurs années en France une application pratique, et que j'examinerai plus loin en étudiant les prises de gaz.

M. Parry, tout en reconnaissant que les gueulards offrant le rapport 1/2 ont constamment donné de meilleurs résultats que ceux dont le diamètre était à celui du ventre dans un rapport moindre, fixe ce rapport comme une limite supérieure qu'il ne croit pas bon de dépasser.

Je ne pense pas que rien justifie cette manière de voir; tout semble indiquer que l'amélioration de la marche continue à croître avec l'augmentation du rapport, et je ne vois de limite à cette extension que dans l'accroissement des difficultés pratiques d'un bon chargement.

51. *Emploi des combustibles crus.* — Après l'examen des avantages acquis, démontrés à la fois par la théorie et par l'expérience, je vais dire un mot des avantages d'un autre ordre qu'il est permis d'esperer, jusqu'à ce que l'expérience vienne décider pour ou contre.

Je veux parler de l'emploi des combustibles crus.

Dans l'état actuel de l'industrie, presque tous les combustibles s'emploient carbonisés, et dans la plupart des usines, cette

carbonisation, s'effectuant sans utilisation des produits gazeux, constitue, indépendamment des frais spéciaux de main-d'œuvre, et d'appareils pour la carbonisation, une perte qui souvent s'élève à 1/3 de combustible.

C'est une mauvaise raison à donner, pour défendre cette méthode, que de dire que le départ des matières volatiles prend de la chaleur et diminue l'effet utile du combustible. Dans la carbonisation, on perd non-seulement les produits volatils, mais une quantité de chaleur beaucoup plus considérable que celle qui est nécessaire à leur départ.

Le véritable motif de l'emploi des combustibles carbonisés est qu'on n'a pas encore trouvé de procédé pratique et courant pour les employer tous à l'état cru. Tantôt les houilles sont trop grasses, et chauffées brusquement se boursouflent, se dilatent, se collent et obstruent l'appareil. Tantôt elles sont trop maigres, décrépitent à la première sensation de chaleur, et se réduisent en fraisil qui obstrue complétement l'appareil, en empêchant la circulation des produits gazeux.

52. *Quelles causes s'opposent à la généralisation de l'emploi des combustibles crus.* — Seuls, quelques charbons ont été employés crus; ce sont les charbons demi-gras qui contiennent peu de bitume, se dilatent peu, et ne décrépitent pas par la chaleur, et les anthracites, moins friables que les charbons anthraciteux.

Quelle raison s'oppose à la généralisation de ces essais?

La forme et la conduite des appareils. Une carbonisation bien menée doit être faite lentement, avec une température ménagée, en évitant avec soin l'accès de l'air, qui augmenterait trop vite la température et le déchet.

Cette condition est-elle remplie dans les fourneaux ordinaires? Loin de là. Le combustible cru, versé dans un gueulard étroit,

yest soumis presque immédiatement à une température de 500 à 600° que lui communique le courant gazeux; la distillation des matières volatiles est rapide; le boursouflement immédiat; le coke produit est poreux, et par sa brusque dilatation il forme, en se collant, des voûtes qui obstruent l'appareil, et rendent impossible l'emploi du combustible sous cette forme. Dans un autre cas, l'application brusque de la chaleur produit au contraire la désagrégation immédiate du combustible, et le passage des gaz se trouve arrêté comme dans le premier cas.

53. *Cet emploi pourra prendre de l'extension par l'emploi des larges gueulards.* — Supposons, au contraire, une cuve large et élevée, un gueulard froid, une charge répartie bien horizontalement sur une grande surface, occupant une faible hauteur et descendant lentement, en raison du volume considérable de l'appareil, malgré sa forte production, arrivant par une lente transition aux hautes températures des parties inférieures de la cuve, tous les inconvénients précités auront chance de disparaître : les charbons trop gras ne pourront faire de voûtes et donneront un coke moins poreux ; les charbons trop maigres cesseront de décrépiter et de se réduire en fraisil; les produits gazeux de cette carbonisation, au lieu de se perdre dans l'atmosphère, seront recueillis avec les autres gaz du haut-fourneau, et employés avec eux. Ils pourront, dans le fourneau même, prêter un certain concours aux opérations d'échauffement et de réduction des matières; tous les frais de carbonisation seront évités, et la consommation totale de combustible sera réduite dans un notable rapport, quand même on consommerait, ce qui est peu probable, la houille correspondante au coke que l'on aurait employé, par la proportion bien plus grande de gaz utilisable que l'on recueillerait, ou que l'on pourrait recueillir, et dont on trouverait l'emploi du jour où on voudrait le faire.

M. Tunner est d'un avis analogue, quand il pense qu'il faut élargir les gueulards pour employer avec avantage le bois cru ou torréfié à la place de charbon de bois.

Le principe est le même, et il y a une considération qui peut montrer que les hypothèses que je viens de développer, hypothèses que j'ai empruntées à M. Truran, n'ont rien d'inadmissible, c'est que l'emploi de l'anthracite cru n'est devenu possible que du jour où le rapport, non pas des diamètres, mais des surfaces du gueulard et du ventre, a atteint la valeur de 0,44, environ 1/2. Tant que l'on est resté au-dessous, on n'a pas réussi, et si l'on eût persévéré pour ces essais dans l'emploi des anciennes formes de cuve, l'usage de ce combustible à l'état cru, si général aujourd'hui dans certains districts de l'Angleterre et dans tout l'état de Pensylvanie, passerait encore aujourd'hui pour impossible.

54. *Résumé des avantages des gueulards larges.* — En résumé, en laissant un instant de côté ces dernières considérations, et ne les regardant pour le moment que comme de séduisantes hypothèses sur la solution d'un problème de la plus haute importance, il n'en reste pas moins acquis à l'emploi des larges gueulards la preuve des avantages suivants :

Augmentation de production, et diminution des frais généraux.

Meilleure répartition des matières solides et gazeuses, et, par suite, des actions chimiques, et économie de combustible.

Amélioration des produits.

§ 4. — DES PRISES DE GAZ. — DU CHARGEMENT ET DES DOSAGES.

55. *De l'influence des prises de gaz.* — A la question du gueulard se rattache incidemment celle des prises de gaz et celle du chargement, que je vais examiner ensemble, à cause de la liaison

forcée qui réunit ces deux questions, par suite de l'influence que la première exerce sur la seconde. Si tant de métallurgistes, en effet, attribuent aux prises de gaz une si funeste action sur la marche des fourneaux, tandis que d'autres n'en ont jamais éprouvé aucun inconvénient, cela tient surtout aux dispositifs particuliers employés dans chaque cas, et à l'influence directe de ces dispositifs sur la bonne ou la mauvaise répartition des matières. Toute disposition de prise de gaz qui, leur offrant une issue insuffisante, créera des contre-pressions anormales, ou qui, obstruant ou rétrécissant le gueulard, mettra le plus léger obstacle à la bonne répartition des charges, amènera, par là, les effets désastreux signalés dans les discussions précédentes, et sera, par suite, très-vite considérée comme détestable. Ce n'est pas pour cela l'emploi des gaz qu'il faudra réprouver, comme on le fait, mais les moyens vicieux mis en œuvre pour cet emploi. Tout appareil, au contraire, qui, sans apporter aucune entrave à un bon chargement, offrira un facile départ aux gaz après leur utilisation complète dans le fourneau, n'aura jamais une mauvaise influence sur sa marche, et sa plus ou moins grande valeur dépendra simplement, alors, de l'approximation plus ou moins grande avec laquelle il résoudra le problème d'une parfaite répartition du gaz dans les matières soumises à leur action.

L'une des meilleures prises de gaz employée depuis longtemps est la prise de gaz à trémie, qui, tout en les recueillant parfaitement, laisse le gueulard absolument libre, et ne gêne en rien, ni l'opération du chargement, ni la bonne répartition des charges, ni leur descente régulière.

56. *Des prises de gaz centrales et des distributeurs coniques.* — Cependant il a été proposé et appliqué depuis quelques années des

appareils qui méritent examen et discussion. L'un deux est l'appareil de M. Coingt, l'un des premiers métallurgistes français qui soient entrés dans la voie d'agrandissement des gueulards et des fortes productions réalisées avec économie de combustible. Les fourneaux auxquels cet appareil est appliqué à Montluçon et à Commentry donnent de si remarquables résultats, qu'il est bon de voir quelle part peut y avoir le système de prise de gaz et de chargement.

M. Coingt se propose de maintenir le gueulard toujours fermé, afin d'y éviter la combustion et les pertes de gaz ; d'opérer mécaniquement le chargement du fourneau ; de recueillir tous les gaz produits sans interruption sensible d'écoulement.

Ce programme est excellent. Il me semble malheureusement que l'appareil employé n'atteint le but désigné qu'en sacrifiant d'autres conditions aussi essentielles à la bonne marche.

Cet appareil, dont les dessins se trouvent dans la bibliothèque de la Société (1), se compose essentiellement d'une prise de gaz centrale formée par un tuyau légèrement conique de $0^m,85$ de diamètre à la base, 0,75 en haut, plongeant verticalement dans le gueulard, jusqu'à 1^m40 de profondeur environ. Ce tuyau, suspendu à un système de poutres portées par des colonnes réparties autour du gueulard, supporte lui-même une demi-trémie conique rivée à ses parois par son bord supérieur; une autre demi-trémie conique repose sur les bords du gueulard, et forme avec la première un orifice annulaire à parois évasées, de $1^m,780$ de diamètre moyen et $0^m,340$ de largeur, par lequel a lieu à volonté l'introduction des charges. Cet orifice est fermé par une pièce annulaire à section triangulaire, formée de deux surfaces tronconiques ; cette

(1) *Portefeuille des travaux de vacances des élèves de l'École centrale*, publié par M. Robert. Année 1859-1860.

pièce, suspendue à un système de leviers et équilibrée par des contre-poids, vient, en s'élevant de bas en haut, s'appliquer contre les rebords des deux demi-trémies intérieure et extérieure. Le fourneau étant fermé, la charge se place dans la trémie au-dessus de l'obturateur annulaire, et s'y répartit avec soin. Pour faire la charge, il suffit d'abaisser le cône obturateur. (Fig. 25.)

Les trois résultats cherchés sont atteints : le gueulard est presque hermétiquement fermé ; les pertes de gaz sont insignifiantes; la charge se prépare à l'aise dans l'intervalle des chargements, et se dispose, le gueulard fermé, au-dessus du cône obturateur. L'introduction en est très-rapide; le gueulard reste à peine ouvert, et il n'y a pas d'interruption sensible dans l'écoulement des gaz. Mais la charge est-elle bien répartie ? Cela me semble impossible. L'orifice par lequel elle est versée n'a, en projection horizontale, que les 0,31 de la surface du gueulard et les 0,13 de la surface du ventre. Il doit se former des talus d'éboulement, comme le montre la figure 25, et il en résulte l'impossibilité d'obtenir une charge également répartie. Le coke glissant moins facilement que le minerai, les matières doivent probablement se répartir dans le fourneau par zones annulaires, condition défavorable à l'ascension régulière des gaz, et à leur bonne utilisation.

Ces zones annulaires n'ont peut-être pas la régularité de celles que nous avons signalées dans les fourneaux à gueulard étroit; mais elles ne peuvent valoir une succession de couches horizontales régulièrement stratifiées.

Peut-on supposer qu'une charge composée de matériaux aussi hétérogènes et différents de volume, passant d'une surface 13 à une surface 100, et offrant au départ une forme très-éloignée de la forme cylindrique, s'en puisse rapprocher beaucoup dans la descente, et arrive, au ventre, à se trouver dans cette position de stratification horizontale que l'on doit rechercher ?

La seule hypothèse favorable à ce système est celle d'un mélange complet et homogène de toutes les matières; mais il est douteux qu'on l'obtienne; le tuyau descendant et le cône distributeur, en donnant nécessairement une forme concave à la partie centrale de la charge, doivent favoriser la formation et l'isolement d'une colonne centrale de minerai.

L'appareil n'évite donc pas les descentes obliques ; il les provoque. Ces considérations me font supposer que la disposition de cet appareil ajoute une cause de dérangement certaine aux causes accidentelles déjà si nombreuses, et que l'inconvénient qui en résulte dépasse les avantages obtenus par ce système. Ajoutons à cela le léger inconvénient d'un gueulard très-encombré par ces colonnes, ces tuyaux, ces leviers et ces contre-poids. Ajoutons encore l'impossibilité, en cas d'accident, d'agir par le gueulard, de voir dans le fourneau, ce qui peut être un obstacle pour surmonter le danger.

Les résultats remarquables obtenus à Montluçon ne doivent donc point, je crois, être attribués, même pour une part minime, à l'emploi de cet appareil, mais à la prédominance du bon effet de l'élargissement du gueulard sur l'effet nuisible de la mauvaise répartition des charges.

M. Parry, dont nous avons déjà cité plus haut les idées sur l'élargissement des gueulards, prétend que l'irrégularité de la répartition des gaz, attribuée aux appareils servant à les recueillir, a déterminé l'abandon de leur emploi dans plusieurs usines anglaises.

Le fait n'a rien de surprenant; il existe en effet, ou il existait à Tredegar, Rhymney, Ebbw Vale et autres usines, des appareils de prises de gaz détestables, surtout par l'impossibilité résultant de leur disposition d'obtenir une répartition régulière des charges, et l'on a rejeté sur l'emploi des gaz ce qui n'était que le fait d'une disposition vicieuse.

M. Parry, supposant également que les larges gueulards appellent les gaz aux parois, propose de les rappeler au centre et de rétablir l'équilibre de la répartition par l'emploi d'un appareil analogue à celui de M. Coingt, tuyau vertical cylindrique descendant dans l'axe du fourneau, et chargeur conique jetant les gros fragments au centre et les petits à la circonférence, et il appuie ses conclusions sur les résultats obtenus des procédés indiqués. — Ici encore, je ne contesterai pas les résultats obtenus, mais je ne puis m'empêcher de croire qu'il y a eu quelque erreur dans leur appréciation et leur application à telle modification plutôt qu'à telle autre. De deux fourneaux mal chargés, l'un à gueulard large, l'autre à gueulard étroit, le premier donnera de meilleurs résultats que le second; mais ce sera malgré le mauvais chargement, et non à cause du mauvais chargement.

L'idée d'une prise de gaz centrale est, je le crois, très-bonne; mais les solutions proposées me semblent défectueuses, et, si l'on en obtient une meilleure répartition des gaz, cela me paraît être au détriment de la bonne répartition des matières.

Je crois donc qu'il est préférable de s'en tenir, pour le moment, aux simples prises de gaz à trémies, en ayant simplement soin de donner aux tuyaux de conduite des gaz des sections suffisantes pour qu'ils ne donnent pas une contre-pression trop forte, qui nécessiterait un accroissement correspondant de pression aux tuyères, et que c'est sur le chargement qu'il faut surtout porter son attention.

57. *Du chargement. Nécessité d'une bonne répartition des matières.* — La première qualité d'un bon chargement est une répartition uniforme de la charge; c'est vers ce but qu'on doit tendre tout d'abord. Toutes les considérations précédemment développées en ont montré l'importance.

58. *Nécessité d'un chargement rapide.* — La seconde est la rapidité de l'opération, non pas seulement au point de vue de la main-d'œuvre, mais surtout à celui du bon emploi des gaz. Il faut que le gueulard reste ouvert le moins longtemps possible. En effet, pendant qu'il est ouvert, on a tout d'abord une assez grande perte de gaz par le gueulard lui-même, mais on a, de plus, une perte d'effet utile des gaz recueillis pendant que l'orifice est fermé, par suite de l'interruption du courant gazeux dans les divers appareils qu'il chauffe, et de l'appel d'air froid qui le remplace immédiatement et produit un refroidissement qui n'est compensé que par une dépense supplémentaire de gaz. L'irrégularité du chauffage de l'air et des chaudières réagit, d'ailleurs, sur la régularité des actions chimiques dont l'ouvrage est le théâtre, et ne peut avoir un bon effet.

On doit donc accorder beaucoup plus d'attention qu'on ne le fait généralement à la durée de la charge et au temps d'ouverture des gueulards.

En laissant complétement de côté les systèmes barbares de chargement à la pelle, à la rasse, à la conche, il faut encore choisir, parmi tous les systèmes de chargement mécanique, celui qui réunira à la fois les deux conditions de rigueur posées plus haut, d'uniformité automatique de répartition, et de vitesse maximum de chargement.

59. *Quel appareil semble résoudre le mieux le problème.* — Le seul système qui me paraisse satisfaire à la fois à ces deux conditions, parmi tous ceux qui se trouvent en usage aujourd'hui, est celui des wagons circulaires, de même diamètre que le gueulard, et dont le fond entier est formé d'un ensemble de soupapes, qui, s'abaissant tout à coup par le simple jeu d'un levier, laissent passer la charge, répartie d'avance avec soin sur toute sa surface; celle-

ci s'abaisse verticalement d'une faible hauteur sans déformation, et se trouve ainsi former une couche régulière et horizontale, si elle tombe sur une couche elle-même horizontale. Ce système employé depuis longtemps dans l'Ardèche, où il a été pour la première fois appliqué, y donne d'excellents résultats.

Avec une disposition bien entendue du gueulard, et deux wagons, l'un pour le coke, l'autre pour le minerai et les fondants, la charge complète faite en une seule fois dure deux minutes, y compris l'ouverture et l'occlusion du gueulard. A 30 charges par jour, cela fait une heure pour la durée totale d'ouverture du gueulard. Le gaz perdu par là représente donc environ 1/24 du gaz produit. Avec les wagons-trémies à soupapes inférieures, employés dans une foule d'usines, la durée de la charge est de 7 à 9 minutes, soit 8 minutes en moyenne; pour 30 charges, cela fait 4 heures pour la durée d'ouverture du gueulard, soit 1/6 du temps considéré, et la répartition des charges, même après que les ouvriers l'ont complétée au râble, est assez défectueuse. Avec la pelle, les rasses, les conches, les brouettes, on emploie de 12 à 15 minutes pour une charge, et quelquefois plus; et la durée totale d'ouverture du gueulard monte à 6 ou 7 heures par jour, soit 1/4 ou 1/3 du gaz perdu par l'orifice ouvert, et donne une répartition très-irrégulière des charges.

Il est des usines où l'application des wagons circulaires n'a pas donné des résultats aussi complets que ceux que j'ai cités plus haut, soit comme bonne répartition des matières, soit comme durée de la charge et du temps d'ouverture du gueulard. Cela tient, d'une part, au défaut de bonne répartition des matières dans le wagon même, de l'autre, à une mauvaise étude de la construction des appareils et à une disposition mal commode des gueulards, enfin, à l'emploi du combustible en morceaux de grosseur quelconque, chargé tel qu'il vient des fours; aussi

n'est-il pas rare de voir alors un seul morceau de coke, placé en travers au-dessus de l'orifice de la soupape ouverte, retenir tout ou partie de la charge qui le surmonte. Dans ce cas, ces appareils n'ont guère plus d'avantages que tous les wagons à soupape ordinaires. L'emploi du ringard est nécessaire pour déterminer la chute des matières, celui du râble pour les égaliser dans le fourneau; et le temps perdu dans ces manœuvres ramène la durée totale d'ouverture des gueulards vers le chiffre de 4 heures par jour, et la perte du gaz à un 1/6.

60. *De la dimension des matières introduites dans le fourneau. Nécessité du cassage.* — Dans cette question de chargement, il convient peut-être d'attacher une certaine importance à la dimension des matières introduites dans le fourneau.

Sans y attacher une importance exagérée, je suis convaincu que l'on obtient de meilleurs résultats d'une charge composée de fragments de minerais et de combustible de dimension à peu près régulière, que d'une charge où le minerai le plus fin se trouve mêlé à des fragments de coke de 6 à 8 décimètres cubes. La conséquence de cette irrégularité doit être une augmentation du tamisage des minerais et de leur glissement, dont nous avons déjà constaté et expliqué les mauvais résultats. Il est presque aussi utile de casser le coke que de casser le minerai, et je crois qu'il ne faut pas que la grosseur des fragments de coke dépasse en moyenne 1 à 2 décimètres cubes.

61. *Emploi du tout venant en Ecosse.* — Dans certains districts d'Ecosse, on néglige complétement cette précaution, et l'on charge dans les fourneaux les blocs de houille tels qu'ils arrivent de la mine; mais on consomme deux à trois tonnes de combustible par tonne de fonte. Ce mode de chargement n'est sans doute pas complétement étranger à un tel résultat.

62. *Opinion des métallurgistes anglais*. — Les métallurgistes anglais attribuent au contraire un pouvoir carburant plus énergique, pour me servir de leur expression, à la houille en gros blocs, qu'à la même houille en petits fragments. Ils se fondent sur des résultats pratiques. D'après M. Truran, il est impossible de produire à Dowlais de la fonte de moulage, quand les morceaux sont au-dessous d'une certaine grosseur. De là, selon lui, une preuve de l'assertion précédente, et il explique le fait par l'hypothèse d'une combustion au gueulard proportionnelle à la surface offerte par le combustible à l'action des gaz, combustion en pure perte, qui diminue d'autant l'effet utile du combustible.

63. *Discussion de cette opinion*. — Je ne vois pas bien comment il se pourrait produire une combustion au gueulard ; j'ai déjà eu occasion d'examiner précédemment cette hypothèse. Le charbon est en présence d'acide carbonique et d'oxyde de carbone. L'acide carbonique peut en effet brûler un certain poids de charbon pour former de l'oxyde de carbone; mais à ce niveau la température n'est plus suffisante pour la réduction du minerai, qui exige au moins 650° à 700°, et, par conséquent, dès qu'il n'y aura plus que de l'oxyde de carbone, limite qui n'est jamais atteinte, il n'y aura plus d'action chimique possible. Je ne saurais cependant trouver l'explication des faits cités par M. Truran, relativement aux fourneaux de Dowlais; les éléments me manquent pour leur appréciation. Je me contente donc de les signaler, bien qu'ils paraissent en opposition avec l'opinion que j'ai émise, et je n'en persiste pas moins à croire, jusqu'à preuve contraire, qu'une faible dimension des morceaux de combustible, de minerai et de fondants, est favorable à la descente régulière et à la bonne répartition des charges et par suite à la bonne marche du fourneau, tant que l'on n'approche pas de la

limite où commenceraient l'obstruction et l'arrêt du passage du gaz.

64. *Influence du volume des charges.* — Le volume des charges paraît avoir une assez grande influence sur la marche des fourneaux, et beaucoup de métallurgistes lui attribuent une haute importance. Effectivement, on a, dans beaucoup de cas, obtenu des améliorations immédiates d'allure et des diminutions de consommation de combustible, de l'augmentation de volume des charges. Je crois cependant que cette importance n'est que relative, et dérive surtout des vices de l'appareil, auxquels on peut, jusqu'à un certain point, obvier.

On pourrait, tout d'abord, citer des améliorations d'allure et de conditions de production ayant coincidé avec une diminution de volume des charges, ce qui permettrait de tirer la conclusion inverse. Laissant de côté ces résultats contradictoires, il est facile de voir comment les bons résultats obtenus de l'accroissement de volume des charges peuvent, dans certains cas, s'expliquer. Si, par exemple, le fourneau est mal disposé; si le gueulard est étroit, le système de chargement ou de prise de gaz défectueux; si l'appareil se trouve, en un mot, dans l'une des conditions précédemment étudiées qui amènent le glissement des charges, les chutes ou la formation de colonnes descendantes de minerai, les fortes charges sont préférables aux petites, parce qu'elles pallieront en partie tous ces inconvénients, par l'épaisseur plus forte de combustible qui aura chance de rester interposée entre les couches successives de minerai, dans les points même où la tendance au glissement sera la plus forte. — Mais si le fourneau est bien construit, bien proportionné, la pression convenable, la répartition des charges et du vent régulière, le volume des charges doit avoir beaucoup moins d'importance, et les considérations qui devront servir de base à sa détermination seront alors les

dimensions intérieures du fourneau, la facilité et la rapidité des manœuvres et le temps total d'ouverture du gueulard.

Il ne faudrait pas, par exemple, que la charge fût telle, qu'arrivé au bas du fourneau, le coke seul suffît à remplir l'ouvrage, en sorte que l'on aurait dans cette région tantôt excès de minerai, tantôt excès de combustible ; il ne faudrait pas que la charge fût d'un poids trop grand, ce qui en rendrait la manœuvre plus difficille et plus longue, et exigerait un personnel plus nombreux. D'un autre côté des charges trop faibles, même dans les meilleures conditions de répartition, sont trop nombreuses, exigent des ouvertures trop fréquentes du gueulard, multiplient les pertes de gaz et de temps.

65. *Nécessité d'expériences.* — Il faut donc prendre un moyen terme. Des expériences à cet égard dans des fourneaux de forme convenable et en bonne allure seraient nécessaires pour la détermination de l'importance de cet élément. Mais en attendant des expériences de cette nature, on peut tirer des considérations précédentes deux limites extrêmes, entre lesquelles on pourra facilement trouver par tâtonnements le chiffre convenable.

66. *Limites inférieure et supérieure.* — Pour un fourneau à forte production, on ne peut guère admettre moins de 24 charges par jour, une par heure. Si la production est de 24 tonnes, cette charge correspondant à une production de 1,000 kil. de fonte pourra se composer de 2 1/2 à 3 1/2 mètres cubes de coke, selon sa densité et le poids consommé par tonne de métal, et $1^{mc},500$ à $2^{mc},000$ de minerais et fondants, ce qui donnerait un volume total de 4 à 5 1/2 mètres cubes. Ce volume, même réduit par la combustion et le départ des matières volatiles, serait bien suffisant pour remplir l'ouvrage, et il ne serait même pas prudent d'attein-

dre cette limite, que nous pouvons considérer comme maximum relativement au volume. Supposons, d'autre part, cette charge réduite au tiers de la valeur précédente, la production restant la même ; les charges auront lieu toutes les 20 minutes.

Il faut bien ce temps pour les mouvements des wagons vides, la composition des charges et leur roulage jusqu'au gueulard. On ne pourrait donc les multiplier davantage sans éprouver la nécessité d'un matériel plus complexe et d'un personnel plus nombreux, et l'on augmenterait, d'autre part, outre mesure, la durée d'ouverture du gueulard et les inconvénients qui en résultent. C'est donc entre ces deux limites, très-étendues d'ailleurs, que l'on pourra déterminer, par expérience, le nombre et le volume des charges les plus convenables.

67. *Influence des dosages.* — Les dosages ou, autrement dit, la composition des lits de fusion, ont une influence très-considérable, non-seulement sur l'allure des fourneaux, mais aussi sur la pureté des produits. Mais l'étude de cette influence est une question, qui ne peut, comme les précédentes, être traitée à un point de vue absolu et général, à cause de l'immense variété de composition, de caractères physiques, de fusibilité, de réductibilité, de pureté des matières à traiter. Il faut dans chaque cas particulier une étude spéciale.

Je n'entrerai donc dans aucun détail à ce sujet, et je me contenterai de signaler l'importance qu'il faut attacher à la bonne composition des charges. De cette composition dépendent les qualités du métal. Elle n'exerce pas une moindre influence sur la consommation de combustible.

68. *Quelques considérations sur les laitiers.* — Les laitiers trop alumineux, c'est-à-dire contenant plus de 18 à 20 0/0 d'a-

umine, sont très-difficilement fusibles, et exigent une température très-forte dans l'ouvrage qu'ils attaquent rapidement, et une forte consommation de combustible. Il en est de même des laitiers trop calcaires ; dès que la proportion de chaux dépasse 45 à 50 0/0, la consommation de combustible s'accroît assez rapidement avec la fusibilité moindre du laitier.

Enfin les laitiers trop siliceux, contenant plus de 45 0/0 de silice, ne sont pas avantageux, quoique très-fusibles, parce qu'ils donnent des fontes impures, plus chargées de soufre et surtout de silicium que les fontes obtenues avec des laitiers plus calcaires, parce qu'ils prennent beaucoup plus de fer que les autres et diminuent le rendement des minerais, et parce qu'ils correspondent, enfin, d'ordinaire, à une allure froide et dangereuse.

69. *Importance capitale des dosages exacts.* — Les variations de dosage, et, par suite, de composition des laitiers ayant une telle influence sur la marche des fourneaux, on conçoit combien il est nécessaire d'y apporter plus de précision que l'on n'en met dans une foule d'usines.

Non seulement il convient de déterminer souvent la composition moyenne de chaque espèce de matière par des analyses chimiques faites avec soin sur des prises d'essai générales, mais encore il faudra que les charges de minerai soient composées non au volume, mais au poids, en pesant séparément chaque espèce de minerai, surtout si leurs compositions sont assez différentes. Beaucoup d'ingénieurs jugent ce soin tout à fait inutile, se basant sur ce fait que, l'analyse moyenne ne donnant qu'approximativement la composition d'un poids de minerai pris au hasard dans le tas, l'opération est déjà entachée d'une cause d'erreur qui rend inutile tant de précision. A cela je répondrai qu'avec une organisation convenable des halles de chargement, la main d'œu-

vre ne coûte pas plus cher qu'en négligeant cette précision. La charge se prépare dans le wagon, sur une bascule, comme elle se composerait partout ailleurs, en chargeant le minerai à la pelle, ou à la conche, et mettant successivement le poids voulu de chaque matière. — D'autre part, ajouter une irrégularité de plus à celles qui existent déjà, n'est pas leur porter remède; il est rare qu'il y ait compensation.

Il faut que les matières soient pesées avec soin et réparties avec soin sur toute la surface du wagon, de manière que le mélange soit à peu près homogène et que les diverses matières soient réparties dans les proportions fixées, sur tous les points du gueulard, au moment de la charge. Sans cette précaution, on a souvent d'un côté du fourneau un dosage tout différent de celui que l'on obtient de l'autre côté, et, malheureusement, il ne s'établit pas de moyenne. C'est là la source la plus fréquente des accrochages, des excavations de la chemise, des chûtes, accidents quelquefois dangereux, et toujours très-coûteux.

Les ouvriers chargeurs ont tout le temps de faire le travail bien et avec soin; c'est aux ingénieurs à l'exiger d'eux, à leur en donner l'habitude, et à faire exercer sur cette partie du service une surveillance active, qui rende toute négligence impossible.

70. *Du grillage extérieur de la castine et des minerais.* — C'est ici le moment d'examiner la valeur d'une tentative faite depuis quelque temps dans plusieurs usines, celle de la substitution de la chaux vive au carbonate de chaux comme fondant, pour éviter la présence, dans les gaz recueillis, de l'acide carbonique provenant de la décomposition de la castine, et améliorer par suite la nature combustible de ces gaz, par la suppression de cet élément qui reste neutre dans les réactions et absorbe, de

plus, en pure perte, une partie de la chaleur produite par la combustion des gaz utiles.

Essayons donc de déterminer quelle sera la valeur de l'amélioration produite.

Supposons un dosage déterminé, et voyons quel sera l'effet utile théorique des gaz dans les deux cas; pour simplifier ce calcul purement approximatif, je supposerai que les minerais employés ne contiennent pas de matières volatiles, et je ferai abstraction de l'humidité.

Soit donc la charge suivante :

			Silice	Alumine	Chaux	Fer	Oxigène	Carbone
Coke à 14 °/. cendres		500k	40k,000	25k,000	5k,000	»	»	430k,000
Minerai A	550k		38 ,500	16 ,500	»	850		
Minerai B	90	850k	6 ,660	2 ,340	9,540	49 ,500	264k,880	
Minerai C	210		18 ,020	4 ,400	15,960	78 ,700		
Castine		120k	4 ,420	1 ,200	64,080	»	»	
		1470k	102k,600	49k,440	94,580	478k,200	264k,880	430k

Les 120 k. de castine introduits dans la charge donnent 50k,300 d'acide carbonique qui, à 0°c et à la pression 0m,76 de mercure, occupent un volume de 25mc,400.

D'autre part, le volume d'air nécessaire à la combustion, à l'état d'oxyde de carbone, du coke employé est de 4mc,440 par kilogramme de carbone effectif soit : 1 909mc,200 pour 430 kil. de carbone; ces 1 909mc,200 d'air atmosphérique contiennent 1 508mc,268 d'azote et 400mc,932 d'oxygène et donnent, après la combustion, 1 508mc,268 d'azote et 801mc, 864 d'oxyde de carbone, soit : 2 310mc,132 de gaz à 0° et à la pression 0m,760 en négligeant les hydrogènes carbonés et la vapeur d'eau provenant de l'eau hygrométrique. Enfin l'oxygène du minerai produit, dans la réduction, de l'acide carbonique; quoique cette réaction ait lieu indirectement, c'est-à-dire par transformation et combustion d'oxyde de carbone, je serai encore au-dessous de la vérité en ne supposant d'autre acide carbonique dans le mélange final que la quan-

rité correspondante à cet oxygène, soit : 184^{mc},250 pour 264^{k},880 d'oxygène.

Dans cette première hypothèse, les gaz sortant du fourneau seront (pour une charge) :

(1) Azote de l'air introduit dans le fourneau. .	1508^{mc},268
(2) Oxyde de carbone produit par l'air lancé dans le fourneau.	801, 864
(3) Acide carbonique produit par l'oxygène des minerais.	184, 250
(4) Acide carbonique dégagé de la castine. .	25, 40$_0$
Total.	2 519, 782

Si l'on avait introduit la castine à l'état de chaux vive, le mélange de gaz sortant par charge ne différerait de celui-ci que par la soustraction du volume (4).

On voit que nous avons exagéré la proportion finale d'oxyde de carbone dans un sens favorable à l'emploi de la chaux vive. Supposons maintenant que l'on brûle ces gaz avec la quantité d'air strictement nécessaire, et, par suite, avec l'effet utile maximum, et voyons quelle sera la température produite dans les deux cas.

Le nombre de mètres cubes d'air nécessaires à la combustion du mélange gazeux indiqué est 1909^{mc},200 contenant, comme précédemment, 1508^{mc},268 d'azote et 400^{mc},931 d'oxygène, et, après la combustion complète, on aura, dans les deux cas :

Volumes de gaz après la combustion.	Avec la castine ordinaire.	Avec la chaux vive.
Azote de l'air introduit dans le fourneau.	1 508^{mc},268	1 508^{mc},268
Azote de l'air ajouté pour la combustion du gaz.	1 508, 268	1 508, 268
A reporter. .	3 016, 536	3 016, 536

Report. . . .	3016^{mc},536	3016^{mc},536
Acide carbonique produit par la combustion de l'oxyde de carbone.	801, 864	801, 864
Acide carbonique produit par l'oxygène des minerais. . .	184, 250	184, 250
Acide carbonique dégagé de la castine.	25, 400	»
Volume total.	4 028, 050	4 002, 650
Dont les équivalents en eau sont respectivement.	1 495, 88	1 484, 77

La quantité de chaleur produite par la combustion est, d'autre part, dans les deux cas, 2 495 464 calories, d'où résulterait pour la température produite par la combustion, en négligeant toutes les pertes de chaleur 1668° dans le premier cas, et 1 680° dans le second.

On voit que l'accroissement de température serait, par le fait de l'emploi de la chaux vive de 12°, soit 1/139 de la température produite dans le cas de l'emploi de la castine. Si l'on remarque, d'autre part, que nous avons supposé que la combustion se faisait avec le minimum d'air nécessaire, résultat que la pratique n'atteint jamais, on verra que ce chiffre est encore exagéré, car, dans la plupart des cas, l'influence de l'air en excès sur la température du mélange après la combustion, est bien plus grande et plus nuisible que celle de l'acide carbonique provenant de la castine.

Dans l'exemple que nous avons choisi, les minerais étant supposés riches, la quantité de fondant est très-faible, et les proportions de combustible employé assez réduites.

Dans le cas de minerais pauvres et très-siliceux, il y aurait, d'une part, plus d'acide carbonique dans la castine, de l'autre

plus de charbon brûlé par tonne de fonte, et le résultat final ne différerait pas beaucoup de celui que nous avons trouvé.

L'introduction dans le calcul des éléments négligés, c'est-à-dire, d'une part, de la chaleur produite par la combustion des hydrogènes carbonés, de l'autre, de la chaleur absorbée par la vapeur d'eau mélangée à l'air introduit dans le fourneau, et par celle qui provient de l'eau hygrométrique du combustible et des autres matières, en modifierait également très-peu le résultat, et donnerait un accroissement de 1/139 dans la température produite par la combustion des gaz. Cet accroissement insignifiant ne me paraît pas motiver suffisamment l'emploi d'appareils particuliers, et d'une main-d'œuvre spéciale, et ne saurait constituer une économie. Quant aux économies de combustible signalées par les promoteurs de l'emploi de la chaux vive, il faudrait prouver d'abord qu'elles sont bien le résultat de cette pratique, puis les mettre en balance avec le prix plus élevé de ce fondant.

Le grillage des minerais carbonatés eux-mêmes a peu d'importance au simple point de vue du départ de l'acide carbonique. Il faudrait, pour réduire de 1/17 la température produite par la combustion des gaz recueillis, que les matières composant la charge continssent 450 k. d'acide carbonique à l'état de combinaison, le coke y entrant toujours pour 500 k., et les autres matières en proportion. — Ce chiffre est énorme et ne saurait être atteint. Il montre l'inutilité du grillage, au point de vue de la qualité des gaz combustibles.

Le grillage aura au contraire une véritable importance lorsqu'il aura pour but la purification des matières employées, par le départ d'une partie des éléments nuisibles, le soufre, par exemple. — La pureté des matières premières est, en effet, la meilleure garantie de la pureté du métal, très-difficile à réaliser avec des mi-

nerais et des combustibles impurs, même avec les dosages les mieux combinés.

Ce motif mis de côté, la bonne préparation des matières s'obtiendra toujours dans un fourneau de forme convenable, bien conduit, et l'effet utile qu'on retirera des gaz recueillis dépendra surtout de la perfection des appareils de combustion et du soin apporté à leur conduite. — Le grillage sera complétement inutile.

§ 5. CONSIDÉRATIONS SUR LES FORMES EXTÉRIEURES.

71. *Les formes extérieures ont une part d'influence sur la marche des fourneaux.* — Les formes extérieures paraissent au premier abord assez indifférentes, et ne semblent pas avoir une grande influence sur la marche de l'appareil.

Je crois cependant qu'elles en ont assez, d'une part sur son prix de revient, de l'autre sur sa conservation, pour motiver une attention plus sérieuse que celle qui leur a été accordée jusqu'ici. Dans beaucoup de régions métallurgiques, en effet, les formes reçues et conservées par un long usage sont une cause de ruine rapide et de détérioration de l'appareil, qui se traduit toujours en définitive par une augmentation de consommation de matières premières, et un accroissement de prix de revient.

72. *Formes de la tour.* — C'est ainsi que, dans certains pays, on en est encore aux formes massives que l'on considère comme les meilleures. On construit des tours carrées de 12^{m} de côté à la base, couvrant une surface de 144 mètres carrés, dans le double but de résister par la masse aux effets de dilatation, et par l'épaisseur aux déperditions de chaleur.

Ailleurs, des cuves de mêmes dimensions intérieures sont contenues dans des tours rondes de 9 mètres de diamètre, couvrant

seulement une surface de 63 mètres carrés, reposant tantôt sur des piliers massifs découpés par les embrasures, tantôt sur des colonnes reliées par des marâtres.

Entre ces formes, quelle est la meilleure?

Au point de vue de l'économie de construction, la forme ronde qui correspond au cube minimum de matériaux ; au point de vue de la répartition de la chaleur, la forme ronde, qui place tous les segments d'une même section horizontale dans des conditions identiques, tandis qu'avec la forme carrée le flux de chaleur dans les différents points de la cuve, variant avec l'épaisseur de maçonnerie, les températures varient, et les effets d'usure qui en résultent, se répartissant inégalement, déforment la cuve; au point de vue de la résistance aux effets de dilatation, encore la forme ronde, qui donne une symétrie complète de résistance, et peut recevoir le système d'armatures le plus logique et le plus simple à la fois, des cercles. Ceux qui ont vu un certain nombre de fourneaux ont pu observer la rapidité avec laquelle se détériorent les tours carrées, de larges fentes dans les voûtes d'embrasures, les milieux des faces primitivement planes du fourneau faisant ventre, et sortant de 30 à 40 centimètres par l'effet de la poussée; en un mot, rapide dislocation pouvant se propager jusqu'à la cuve et déterminant soit des pertes de gaz, soit des rentrées d'air. Au contraire, les fourneaux à tour ronde convenablement cerclés n'offrent jamais aucune détérioration importante; à peine y remarque-t-on quelques minces lézardes, et quelques fentes de 2 à 3 centimètres dans les voûtes des embrasures.

L'importance qu'offre, en cas d'accident, un facile accès de toutes les parties du creuset et de l'ouvrage, rend préférable à tous les autres systèmes les fourneaux à piliers évidés, ou à colonnes, dans lesquelles toutes les parties inférieures de la chemise réfractaire sont indépendantes et isolées des piliers de cœur.

73. *Des épaisseurs du creuset et de l'ouvrage, et de l'isolement de ces parties du fourneau.* — Mais c'est surtout la forme et l'épaisseur des maçonneries inférieures de la chemise elle-même qui offrent de l'importance. Au contraire de l'opinion des constructeurs belges, qui donnent en général jusqu'à 1^{m},50 d'épaisseur aux parois réfractaires de leurs creusets, et renforcent encore ces épaisseurs de piliers de cœur énormes, je pense qu'on a avantage à leur donner des parois minces et à les isoler autant que possible des maçonneries extérieures.

Les matériaux du creuset et de l'ouvrage, soumis à de très-hautes températures et à de puissantes actions chimiques, se corrodent très-promptement, et, s'il est utile, en les construisant, de ne pas donner au vide intérieur des dimensions exagérées, il ne l'est pas moins de ne pas leur laisser prendre ces dimensions par l'usure.

C'est une chose dont, fort souvent, on ne se préoccupe pas assez; on donne par exemple, comme à Bracquignies 1^{m},80 de diamètre à un ouvrage, et on lui laisse prendre 2,80 de diamètre par l'usure; on se contente de maintenir, tant bien que mal, les tuyères en place, suspendues au milieu des matières en fusion, au risque de jeter de l'eau dans le creuset que l'on protège, du reste, bien soigneusement contre les déperditions de chaleur par une forte épaisseur de maçonnerie. Le fourneau prend des formes ruineuses; l'ouvrage et le creuset s'élargissent outre mesure; nous avons déjà étudié les résultats qu'on en obtient; le métal, mal réduit, devient mauvais, avec une consommation de combustible exagérée.

Dans d'autres usines, au contraire, on s'oppose à cet effet continuel de corrosion par l'emploi de bâches à eau introduites au milieu de la maçonnerie, et où l'évaporation continue de l'eau donne un refroidissement convenable.

Si l'on examine la manière dont s'use un creuset, on remarque que cette usure marche tout d'abord très-vite, puis se ralentit, et arrive enfin, après un progrès suffisant, à devenir presque nulle, mais en général à un moment où les dimensions ruineuses obtenues dans l'ouvrage rendent les réparations urgentes; on reconstruit alors un creuset et un ouvrage qui se rongent à leur tour très-vite, et l'on est toujours en mauvaise marche.

D'où vient cet arrêt dans les progrès de l'usure? D'une part de l'énorme abaissement de température de l'ouvrage, résultant de la très-mauvaise répartition de la combustion, de l'autre d'une sorte d'équilibre stable de température qui s'établit dans les matériaux de la paroi, du moment où, par leur diminution d'épaisseur et l'accroissement de la quantité de chaleur perdue par rayonnement, leur surface intérieure est maintenue à une température suffisamment basse. Quelquefois cependant cela ne suffit pas, la combustion la plus vive ayant toujours lieu contre la paroi, et c'est alors que l'on se décide à opérer un refroidissement plus énergique des matériaux réfractaires, par l'emploi des bâches à eau, ou par l'application directe de l'eau sur les briques.

Avant d'en venir à un remède souvent utile, mais tardif, il est donc préférable de prévenir le mal, en donnant à ces parties du fourneau des épaisseurs moindres, de manière à ce que le refroidissement extérieur par l'air produise l'effet de compensation que l'on produit par l'emploi des bâches, et que l'on obtient naturellement, mais trop tard, dans les fourneaux à parois épaisses.

Avec des parois minces et isolées, si parfois une partie devient trop mince, la réparation est facile, prompte, sans gravité, et nécessite à peine un arrêt de quelques heures.

Enfin, dans aucun cas, l'incurie du conducteur du fourneau ne

peut laisser l'ouvrage atteindre les dimensions exagérées auxquelles il parvient souvent dans certaines usines belges, le diamètre extérieur des maçonneries étant tel que le fourneau serait percé à jour avant d'avoir atteint une déformation trop grande, ce diamètre extérieur étant de $2^m,00$, par exemple, pour un vide intérieur de $1^m,00$ au niveau des tuyères.

L'accroissement des dépenses d'entretien du fourneau ne serait pas une objection sérieuse; il suffirait de voir ce que coûte de combustible, dans beaucoup d'établissements, cette économie sur les frais d'entretien.

74. *Observations sur la disposition des conduites de vent et de gaz.* — L'accès facile de toutes les parties des conduites de gaz a aussi une certaine importance, d'une part, pour éviter par une surveillance facile et fréquente les déperditions de vent nuisibles et coûteuses, de l'autre, pour permettre un rapide et fréquent nettoyage de ces conduites, qui, dans beaucoup de cas, s'obstruent fort vite, malgré l'emploi de caisses à poussière, ce qui nuit beaucoup à l'utilisation des gaz, au point de la faire considérer comme impossible dans quelques usines.

Il faut donc que tous les points du tuyaux soient d'un accès facile, qu'ils soient munis de nombreuses portières, permettant de les nettoyer au rable sans y pénétrer, et disposées de manière que les poussières tombent d'elles-mêmes par les portières ouvertes. Alors le nettoyage peut s'en faire très-vite, dans l'intervalle d'une coulée, par exemple, et sans arrêt dans la marche du fourneau, tout arrêt étant une perte et une cause de dérangement et d'irrégularité, et l'on n'a pas, dès lors, à craindre de les renouveler à de fréquents intervalles.

§ VI. CONCLUSIONS.

75. *Résumé général et conclusions.* — Cette étude terminée, voici les conclusions que je me crois en droit d'en tirer :

La fabrication la plus économique est en même temps celle qui donne les meilleurs produits; les mauvaises fontes ne s'obtiennent que par de mauvaises allures et des consommations de combustible ruineuses.

L'accroissement de production des appareils est l'une des principales sources d'économie de frais généraux, main-d'œuvre, et matières premières, si les appareils sont convenablement disposés pour la permettre.

Pour arriver à ce but, les fourneaux devront être de grandes dimensions, de manière à opérer sur de grands volumes de matière à la fois, ces matières étant ainsi plus lentement et mieux préparées, avec un plus grand effet utile du combustible.

Le volume du vent sera réglé d'après la consommation de combustible correspondant à la production désirée, à raison de $4^{mc},440$, au maximum, d'air par kilogramme de carbone fixe (volume mesuré aux buses et entrant effectivement dans le fourneau). Les machines soufflantes auront cependant un grand excès de force disponible.

La production maximum devra être réglée sur la vitesse de descente des charges, en comptant toujours sur 24 heures au moins pour la durée moyenne de cette descente, pour tenir compte du tamisage des minerais, qui, pour une partie des matières, réduit le temps de séjour dans un rapport considérable.

La pression du vent sera réduite au minimum, et réglée surtout d'après la perméabilité des couches et les résistances de frottement à vaincre pour traverser le fourneau. Il ne serait pas moins utile d'avoir un manomètre au gueulard qu'aux tuyères, et

l'observation de ce manomètre donnerait de très-utiles renseignements sur les accidents intérieurs, et réglerait les variations à apporter à la pression du vent pour y remédier.

L'air chaud sera toujours employé, avec le soin de déterminer les dosages en raison de sa température, de manière à compenser, par les affinités des laitiers pour les matières nuisibles, celles qui pourraient produire l'impureté du métal.

Le vent sera lancé par deux buses, trois au plus; il sera préférable de garder cette dernière comme tuyère de secours, en cas d'accident. Les buses seront cylindriques ou coniques avec un angle au sommet très-aigu, de manière que les filets gazeux soient sensiblement parallèles, et pénètrent le plus loin possible dans le creuset. Leurs axes ne se confondront pas, mais seront inclinés légèrement, l'un vers la tympe, l'autre vers la rustine, de manière que la zone de combustion maximum ait le plus d'étendue possible; ils seront horizontaux ou plongeants.

Les tuyères auront toujours une ouverture plus grande que celle des buses, et un vide intérieur presque cylindrique, de manière qu'il n'y ait, autant que possible, ni refoulement du vent, ni aspiration de l'air extérieur, si on marche à tuyère ouverte.

Le creuset sera circulaire; son diamètre ne dépassera pas $1^{m},00$. L'ouvrage sera du même diamètre, presque cylindrique et assez élevé, de manière que la combustion y soit aussi régulière que possible, ce qui sera obtenu d'autant plus facilement qu'elle sera répartie dans un espace plus resserré.

Les étalages auront au moins 60° à 70° de pente, jamais moins, de manière que la transition du ventre à l'ouvrage soit lente et n'amène pas de glissement trop oblique des charges. Ils se prolongeront aussi haut qu'il sera nécessaire pour atteindre le diamètre fixé pour le ventre, dont la hauteur au-dessus de la sole sera quelconque.

métallurgiques ; elle permettrait, en un mot, d'arriver, comme rapidité de fabrication, qualité de produits, et surtout économie de combustible, à des résultats supérieurs à tous ceux obtenus jusqu'à ce jour.

A part quelques heureuses exceptions, il est peu d'usines où l'ensemble des appareils et des procédés ne pèche par quelque côté, et, dans la plupart d'entre elles, de légères modifications suffiraient à la réalisation d'économies considérables.

J'appelle donc l'attention de tous les métallurgistes sur les faits que j'ai cités, et sur les conclusions que j'ai cru pouvoir en déduire.

Si je me suis trompé, j'aurai du moins soulevé la discussion sur des faits dont l'importance n'est pas assez généralement sentie ; j'aurai peut-être convaincu quelques esprits pratiques de l'utilité que pourraient avoir des études théoriques basées sur des expériences nombreuses, analogues à celles de MM. Ebelmen et Tunner, sur des phénomènes de toute nature qui concourent à l'obtention de la fonte dans les hauts-fourneaux ; j'aurai peut-être déterminé quelques-uns d'entre eux à les entreprendre, et il en pourra parfois surgir quelque résultat, dont l'application pratique sera un pas de plus fait dans la voie du perfectionnement de la métallurgie.

Toute reproduction de ce Mémoire est interdite, sans l'autorisation de l'auteur.

Ouvrages consultés : — *The iron manufacture of Great Britain*, by William Truran. — London, 1855.

Revue universelle de la Métallurgie, etc., 1re année, — 1re livraison.
Id. id. id id. 4e année, p. 432 et suiv.
Bulletin de la Société de l'industrie minérale, t. IV. — 2e livraison.
Id. id. id. id t. V. — 1re livraison.
Annales des Mines.

9.

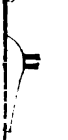
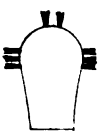
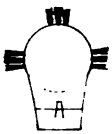


Fig. 10.



Gartsherrie Coran.

Fig. 11.



Swansea

Fig. 12.

Pays de Galles

Fig. 13.

Pays de Galles

Fig. 14.

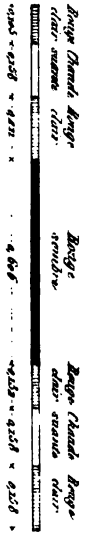
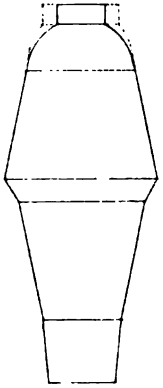


Fig. 19.

Fig. 20.



Dowlais

Fig. 15.

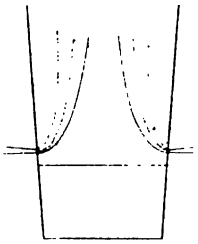
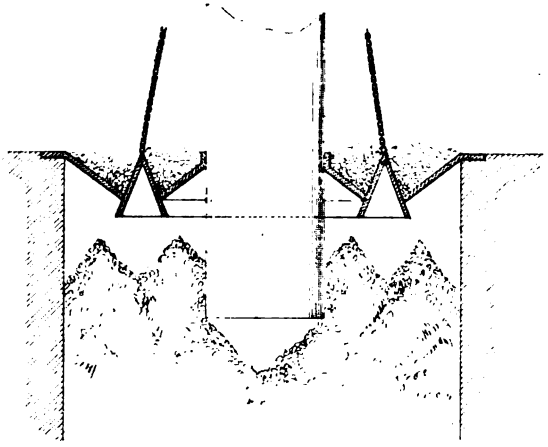


Fig. 25.



Établ.t et imp.rie de E. Veller, Evreux

NOTICE

sur le professeur Hodgkinson. F. R. S.

Le *Courrier de Manchester*, après avoir annoncé la mort regrettable de M. Eaton Hodgkinson, qui eut lieu à Broughton, le 28 juin de cette année, donne l'historique suivant de la vie et des travaux du célèbre expérimentateur (1) que notre Société a eu l'honneur de compter au nombre de ses membres honoraires.

Eaton Hodgkinson, professeur de mécanique appliquée, à Londres « University College, » est une autorité européenne sur les propriétés du fer et de la fonte, et l'application de ces métaux à l'architecture et à l'art de l'ingénieur. Il naquit à Anderson, près Norchwich, dans le comté de Cheshire, le 26 février 1789. Il perdit son père de bonne heure, et sa mère l'envoya à l'école de grammaire à Norchwich, avec l'intention de le faire entrer, si elle le pouvait, dans les ordres; cependant son faible patrimoine la contraignit à abandonner toute idée de l'envoyer à Cambridge, et elle prit la résolution d'aller se fixer à Manchester, où, aidée de son fils alors âgé de vingt-et-un ans, elle se mit dans le commerce. Mais ce genre d'occupation n'avait aucun attrait pour le jeune Hodgkinson, qui avait poussé très-loin l'étude de l'hébreu et d'autres langues, et qui, de plus, montrait un goût décidé pour les mathématiques. Il s'attacha de plus en plus à cette dernière étude, surtout en se voyant dans une cité qui, en mécanique, se distinguait par son esprit pratique, mais qui laissait à désirer sous le rapport scientifique. A cette époque (1810), on n'avait qu'une connaissance imparfaite de la résistance des matériaux et de la fonte en particulier. Avant l'époque où M. Hodgkinson se livra à ces sortes de recherches, la principale autorité sur les poutres en fer était Tredgold Ce dernier était parti de l'hypo-

(1) Cet historique a été traduit de l'anglais par M. G. Love.

thèse que, lorsqu'un corps est soumis à un effort transversal, il résistait avec une force égale en haut à la compressic n, en bas à la tension; ce qui l'avait amené à présenter la forme à deux renforts symétriques, comme la plus convenable. Au lieu de s'en tenir à une simple hypothèse, M. Hodgkinson démontra expérimentalement que, dans la fonte et tous les corps cristallins, la résistance à la compression était notablement supérieure à l'autre, et il arriva, par suite, à cette conclusion que, pour la fonte en particulier, la forme de section la plus économique etait celle du T renversé dans laquelle le renfort inférieur présentait une aire égale à environ six fois celle du renfort supérieur, le gain de résistance sur la forme symétrique de même poids étant au moins des 2/3. La première application de cette découverte date de 1830. Elle fut faite par George Stephenson à la traversée de « Water Street » à Manchester, du chemin de fer de Manchester à Liverpool.

Les recherches de M. Hodgkinson ont ébranlé sérieusement l'hypothèse admise par Tredgold, Moscley, Navier et beaucoup d'autres, que tous les corps rigides sont élastiques dans une certaine limite; car il fit voir que, pour la fonte et d'autres corps, comme la pierre, l'élasticité est loin d'être parfaite, le défaut d'élasticité variant à peu près comme les carrés des poids supportés ou des changements permanents.

En ce qui concerne la résistance des piliers, les profondes recherches d'Euler s'étaient montrées de faible valeur pour la pratique. La théorie du célèbre géomètre était basée sur le poids capable de produire un commencement de flexion; mais, ne pouvant arriver à la détermination d'un pareil poids, M. Hodgkinson chercha s'il serait plus heureux dans la détermination de celui capable de rompre le pilier, *poids qu'il trouva être soumis à une loi régulière*. Les expériences auxquelles il se livra dans ce but,

au nombre de 227, établirent quelques faits remarquables, entre autres : la diminution de résistance d'un pilier, sous la même charge, à mesure que sa longueur augmente à partir d'un certain point; — le rapport des résistances de deux piliers de mêmes dimensions, l'un ayant les extrémités plates et l'autre arrondies (on sait que le premier offre une résistance triple du second); — l'accroissement de résistance que l'on obtient en augmentant graduellement le diamètre d'une colonne vers le milieu. De ces expériences, M. Hodgkinson déduisit des formules pour les piliers pleins ou creux, qui ont été adoptées en Angleterre et sur le continent, et ont été converties en tables pour la commodité des architectes. Ces dernières recherches furent présentées à la Société Royale de Londres et imprimées dans les travaux philosophiques en 1840, sous le titre : *Recherches expérimentales sur la résistance des piliers en fonte et autres matériaux*. Elles lui valurent en outre la double distinction de recevoir la médaille d'or royale, et d'être élu membre de la célèbre Société.

Ces dernières expériences, comme les précédentes, furent faites aux frais de M. Fairbairn, de Manchester, auquel il prêta une assistance sérieuse dans celles entreprises par cet habile industriel. Quelques-unes furent faites au moyen d'allocations de l'association britannique pour l'avancement des sciences; et les unes et les autres, jointes à celles dont il reste à rendre compte, ont donné lieu à une dépense totale que l'on peut évaluer à 250 000 francs. Dans les recherches entreprises pour le compte de l'association, il fut, en plusieurs occasions, le collaborateur de M. Fairbairn, notamment dans les expériences faites en vue de déterminer l'influence de la température de l'air employé dans la fabrication ou la fusion de la fonte sur la qualité du métal. (Rapports de l'association britannique pour l'avancement de la science, vol. VI.)

Lorsque Robert Stephenson conçut l'idée de son pont tubulaire, il s'adressa, ainsi que M. Hodgkinson le reconnaît, à M. Fairbairn d'abord, puis, par l'intermédiaire de celui-ci, à M. Hodgkinson, afin d'obtenir les données particulières que nécessitait une application si nouvelle du métal. M. Hodgkinson avait d'ailleurs été consulté en particulier presque à la naissance du projet; mais, en 1845 il prit part aux expériences faites à Milwall (Londres), dans l'usine de M. Fairbairn; après quoi il se livra personnellement aux expériences et calculs d'où furent tirées les proportions d'une construction qui est peut-être le produit le plus remarquable de la science de l'ingénieur dans les temps modernes. Sa coopération dans cet important travail lui valut la médaille de première classe à l'exposition universelle de Paris en 1855.

En août 1847, M. Hodgkinson fut nommé membre de la commission royale, instituée à la suite de la chûte du pont de Dee sur le chemin de fer de Chester à Holy head, pour faire une enquête sur l'emploi du fer et de la fonte dans la construction des chemins de fer. Sous forme d'appendice au rapport de cette commission (1849), on trouve 180 pages renfermant les résultats d'expériences faites par lui pour la commission sur le pont tubulaire. En cette occasion il reçut les remercîments de la commission pour le « *zèle et l'intelligence remarquables* » dont il fit preuve dans les expériences qu'il avait entreprises.

Le compte rendu de ces nombreuses et utiles investigations a été parsemé dans diverses publications, notamment, dans les « Transactions de l'association britannique pour l'avancement de la science » et dans celles de la Société littéraire et philosophique de Manchester (Société dont M. Hodgkinson fut le président pendant quelque temps), et dans d'autres publications qui ont été mentionnées précédemment; mais on peut prendre une idée

assez juste de la nature et de la portée de ses travaux, dans la dernière édition de Tredgold (Strength of cast iron and other metals) à laquelle il ajouta un volume. (1) Cette édition porte la date 1841-46. Plus tard, ses expériences relatives aux tubes de Conway et de Britannia firent ressortir les valeurs relatives du fer et de la fonte, quant à leur capacité de résister à des efforts de traction et de compression, et l'importance de la forme cellulaire dans les ponts tubulaires. Parmi ses écrits, un des premiers sur la résistance à l'effort transversal, dans lequel il émet des vues en opposition avec celles généralement admises sur la position de l'axe neutre, se trouve dans les mémoires de la Société de Manchester (2e série 1822); dans le 5e volume de la même publication (1831) ont été insérés de lui les cinq mémoires suivants : un premier sur les formes de la courbe des câbles dans les ponts suspendus, dont le révérend docteur Wheswell a donné un extrait dans *sa statique analytique* (Cambridge 1833), et que le révérend Canon Moseley a développé dans « *ses principes mécaniques de l'art de l'ingénieur.* » Deux autres rendent compte du pont suspendu sur chaînes de Broughton à Manchester, et de sa chûte. Le troisième traite de la résistance et de la forme des poutres en fonte. Le quatrième donne le résultat d'une longue série d'expériences sur le choc des corps offrant une élasticité imparfaite; et le cinquième s'occupe de la résistance des poutres aux chocs.

Depuis, en 1856, M. Hodgkinson s'est livré à de nouvelles recherches aux frais de la Société Royale et de Robert Stephenson (2), il fut ensuite nommé membre honoraire des principales

(1) Ce volume a été traduit presque en entier par un ingénieur des Ponts-et-Chaussées dont le nom m'échappe.

(2) Ces derniers travaux, formant un mémoire important dont M. Hodgkinson m'a envoyé un exemplaire, et dont je rendrai compte un jour, se rapportent à des expériences faites sur des piliers creux et pleins, de *grandes*

Sociétés fondées par les ingénieurs et les architectes, tant en Angleterre que sur le continent, où ses travaux avaient également excité le plus vif intérêt.

Après cet historique sur M. Hodgkinson, emprunté au journal *English Cyclopedia, Le Courrier de Manchester* ajoute : Afin de se livrer plus commodément à ses expériences, M. Hodgkinson alla résider à Londres pendant plusieurs années, mais le soin de sa santé le força de quitter cette ville en 1859. A partir de cette époque, ses forces déclinèrent graduellement jusqu'au 18 juin, jour où il mourut, à Englesfield (Higher Broughton, Cheshire). On trouve dans le caractère de M. Hodgkinson des qualités que l'on voit rarement réunies. A un amour de la vérité que quelques-uns ont pu trouver porté au-delà des bornes raisonnables, il joignait une humeur facile, un cœur ouvert et un grand amour pour l'humanité. Ces vertus chrétiennes, jointes à une vie employée avec une infatigable activité à des recherches scientifiques d'une importance vitale pour la pratique en font un homme dont, ainsi que de Dalton, Manchester a le droit de s'enorgueillir.

dimensions et ont pour but de montrer, et démontrent que les lois trouvées précédemment, en opérant sur des piliers relativement petits, étaient également applicables aux grands. C'est à mes anciens rapports avec M. Hodgkinson que j'ai dû cette marque d'attention. J'ai eu, en effet, la bonne fortune d'avoir contribué le premier, je crois, et pour une bonne part, à faire connaître en France les travaux du consciencieux et habile expérimentateur. L'étude complète que j'en ai faite m'a permis également de faire mieux apprécier par la 14ᵉ classe du jury de l'Exposition Universelle de 1855, dont je faisais partie, les services rendus à la profession par l'éminent professeur, services qui ont été récompensés par la médaille de 1ʳᵉ classe. On me permettra de rappeler aussi que c'est à son intention que je proposai à la Société la création d'une classe de membres honoraires, dont M. Hodgkinson a été le premier titulaire. Peu de temps après la publication de mon premier mémoire en 1851, j'ai eu l'honneur de recevoir plusieurs fois la visite de M. Hodgkinson avec qui j'ai conversé longuement, et qui, je dois le dire à sa louange, ne m'a jamais su mauvais gré de la manière indépendante dont j'ai rendu compte de la plupart de ses travaux.

CATALOGUE

DES OUVRAGES COMPOSANT LA BIBLIOTHÈQUE

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

AGRICULTURE et GÉOLOGIE.

Affaissement du sol et envasement des fleuves, survenus dans les temps historiques, par M. de Laveleye.
Agriculture allemande, ses écoles, son organisation, ses mœurs et ses pratiques les plus récentes, par M. Royer.
Agriculture française, départements de l'Isère, du Nord, des Hautes-Pyrénées, du Tarn, des Côtes-du-Nord, de la Haute-Garonne, de l'Aube, par les inspecteurs de l'agriculture.
Agriculture (Cours de M. Gasparin).
Bulletins de la Société impériale et centrale d'agriculture.
Comité central agricole de la Sologne (Procès-verbal de la séance du 22 septembre 1861).
Drainage des terrains en culture, par M. Le Grand.
Éléments des sciences physiques appliquées à l'agriculture, par M. Pouriau.
Etudes géologiques sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.
Etudes géologiques sur le Jura Neuchâtelois, par MM. Désor et Gressly.
Etude paléontologique sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.
Guide du draineur, par M. Faure.
Géologie du Pérou, par M. Crosnier.
Géologie du Chili, par M. Crosnier.
Irrigations. Rapport de M. Le Chatelier sur un mémoire de MM. Thomas et Laurens.
Irrigation; son influence sur l'agriculture, et des moyens d'y pourvoir, par M. J.-A. Krajembrenk, ingénieur à Java.
Maison rustique, par MM. Ysabeau et Bixio.
Maladie de la vigne (Rapport sur la), par M. Marès.
Note sur le progrès agricole, par M. Ernest Pépin-Lehalleur.
Note sur les puits artésiens du Sahara oriental, par M. Ch. Laurent.
Programme pour le Cours de génie rural, par M. Faure.
Programme pour le Cours de génie rural, par M. Trélat.
Rapport sur les eaux de la ville de Liége, par M. G. Dumont, ingénieur des mines.
Recherches sur les eaux employées dans les irrigations, par MM. Salvetat et Chevandier.
Soufrage économique de la vigne, par M. H. Marès.
Traité complet de l'élève du cheval en Bretagne, par M. Ephrem Houel.

CHEMINS DE FER.

Accidents, moyens pour les prévenir, notes dans le journal *Le Brevet d'invention*, par M. Jules Gaudry.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Emile With.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Pacquerie.
Album des chemins de fer, par M. Cornet.
Album des chemins de fer, par M. Jacquin.
Améliorations à introduire dans l'exploitation des chemins de fer, par M. Bordon.
Annuaire des chemins de fer, par M. Petit de Coupray.
Appareils électriques destinés à assurer la sécurité sur les chemins de fer, par M. Marquefoy.
Appareil dit *avertisseur*, ou signal d'arrêt des trains, par M. M. Grivel.
Assainissement et consolidation des talus, par M. Bruère.
Bâtiments de chemins de fer, par M. Chabat.
Cahier des charges de la Compagnie du chemin de fer du Midi, remis par MM. Bellier et Bommard.
Changement et croisement de voie, par M. Thouvenot.
Chemins de fer d'Angleterre en 1851. Matériel fixe, matériel roulant, exploitation et administration, législation et statistique, par M. Le Chatelier.
Chemin de fer de Gray à Verdun, par M. Henri Fournel.
Chariot roulant sans fosse pour la manœuvre des wagons et machines locomotives dans les gares de chemin de fer, par M. Sambuc.
Chemin de fer hydraulique. Distribution d'eau et irrigations, par M. L.-D. Girard.
Chemin de fer de Constantinople à Bassora, par MM. Emile et Alexis Barrault.
Chemin de fer occidental de Mons, Jemmapes et Saint-Ghislain à Nieuport, par MM. Guibal et Baulleux.
Chemins de fer français, par M. Victor Bois.
Chemin de fer du Havre à Marseille par la vallée de la Marne, par M. Henri Fournel.
Chemins de fer suisses (Rapport sur les).
Chemin de fer de Marseille au Rhône et à Avignon (Rapport de l'Assemblée générale du).
Chemin entre Vitry et Gray, par M. Brière de Mondétour.
Chemin de Metz à Sarrebruck (Projet), par MM. Flachat et Petiet.
Chemin de fer de Paris à Meaux, par MM. Mony, Flachat, Petiet et Tourneux.
Chemin de fer de Victor-Emmanuel (Cahier des charges), par M. Capuccio.
Chemins de fer à courbe de petits rayons (Système applicable aux) par M. Aubry.
Clepsydre à signaux (Note sur une), par M. Delacroix.

Combustibles employés pour le service des chemins de fer, par M. de Fontenay.
Comptes-rendus des opérations du chemin de fer de l'État belge.
Considérations sur les serre-rails et table-rails, par M. Barberot.
Consultations sur des questions de droit présentées par les Compagnies de chemins de fer.
Croisements des voies par M. Le Cler.
Description d'un nouveau système de signal électrique, par M. Fernandez de Castro.
Électricité (l') et les chemins de fer, par M. Fernandez de Castro.
Électricité (l') et les chemins de fer, par M. Émile With.
Électro-magnétisme appliqué aux chemins de fer, par M. Prouteaux.
Enquête sur les moyens d'assurer la régularité et la sécurité de l'exploitation sur les chemins de fer.
Essieux pour les chemins de fer, par M. Benoit-Duportail.
Eclissage, nouveau système, par M. Desbrière.
Frein automoteur (Rapport), par MM. Robert, Combes et Couche.
Frein dynanométrique, par M. Chuwab.
Frein hydraulique, par M. Meller jeune.
Frein instantané pour chemin de fer, par M. Tourasse.
Géométrie des courbes et gravages des voies de chemins de fer, par M. V. Pron.
Guide du mécanicien constructeur et conducteur de machines locomotives, par MM. Le Chatelier, E. Flachat, J. Petiet et C. Polonceau.
Guide commercial à l'usage des chefs de gares et stations, par M. Petit de Coupray.
Histoire financière des chemins de fer français, par M. de Laveleye.
Indicateurs électriques destinés à compléter la sécurité des trains sur les chemins de fer, par M. Regnault.
Locomotive à grande vitesse, avant-train mobile, par M. Robert d'Erlach.
Locomotive à poids, utile pour le passage des Alpes et des Pyrénées sur les rampes de 5 m/m., par M. Cernuschi.
Locomotive de M. Haswell (Note descriptive sur une), par M. J. Gaudry.
Manuel Roret (construction des chemins de fer), par M. Emile With.
Matériel des chemins de fer (De la réception du), par M. Benoit-Duportail.
Matériel des chemins de fer. Documents officiels, par MM. Valério et de Brouville.
Matériel roulant, permettant la construction des chemins de fer à petites courbes et fortes rampes, par M. Edmond Roy.
Matériel roulant des chemins de fer, par M. Nozo.
Matériel roulant des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, ligne du Bourbonnais, remis par M. Bazaine, ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Mémoire sur un système de wagons et sur la composition des trains.
Nouveau système de pose de rails, par MM. Prestat, Thibaut et Constant.

Programme de concours pour une machine pour le chemin de fer du Semmering. Consul d'Autriche.
Pentes et rampes, par M. Léveillé.
Proposition de la ville d'Orléans (sur une modification du raccordement).
Rapport sur les chemins de fer Neuchâtelois, par M. de Pury.
Rapport sur le chemin de fer d'Anvers à Gand, par M. Prisse.
Rapport des Commissions sur l'application du fer dans la construction des chemins de fer, par M. Hodgkinson.
Rapport du conseil d'administration du chemin de fer Hainaut et Flandres.
Rapport sur les expériences faites par la Compagnie du Nord, pour l'amélioration des voies, par M. Brame, ingénieur des ponts et chaussées.
Rapports présentés par les administrations de chemins de fer aux assemblées générales.
Résistance dans le passage des courbes dans les chemins de fer, par M. Wissocq, ingénieur des Mines.
Résistance des convois à l'action des moteurs, par M. Jousselin.
Solution de la question des chemins de fer, par M. Poujard'hieu.
Sur les chemins de fer de la Confédération germanique, par M. Emile With.
Télégraphe électrique, par M. Victor Bois.
Tracé des chemins de fer (Rapport fait à la Commission).
Traité pratique de la construction des chemins de fer, par M. Adhemar.
Traité élémentaire des chemins de fer, par M. Perdonnet.
Traversée des Alpes par un chemin de fer, par M. Eugène Flachat.
Voies ferrées économiques (Mémoire à l'appui de l'établissement des), par M. G. Love.

CHIMIE et PHYSIQUE.

Appareils de chauffage, par M. J.-B. Martin.
Appareils fumivores, par M. Marion Fauvel et C^ie^.
Assainissement de la savonnerie de MM. Ariot et C^ie^, par M. Félix Foucou.
Céramique (Leçons de), par M. Salvetat.
Chauffage et ventilation de la nouvelle Force, à Paris, par M. Ph. Grouvelle.
Chimie industrielle (Précis de) (texte et planches ensemble), par M. Payen.
Coloration et conservation des bois. Réponse au Rapport des experts, par M. Gardissal.
Combustion de la fumée et des gaz combustibles, par M. Petitpierre Pellion.
Conservation, incorruptibilité et incombustibilité des bois (Notice), par MM. J.-B. Perin et Meyer d'Uslar.
Conservation des bois, par M. Jousselin.
Considération chimique et pratique sur la combustion du charbon, par M. Williams.

Conservation des bois, procédés de MM. Legé et Fleury-Perronnet.
De l'éclairage par le gaz hydrogène carboné, par M. Gaudry père.
Dictionnaire des analyses chimiques, par MM. Violette et Archambau.t.
Emploi du sucre pour préserver les chaudières à vapeur des incrustations salines, par M. Guinon.
Emaux colorés sur couches minces à la peinture ordinaire des panneaux de voitures de chemins de fer, par MM. Mercier et de Fontenay.
Essai sur l'identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière, l'électricité, etc., par M. Love.
Etudes sur les corps à l'état sphéroïdal, par M. Boutigny (d'Evreux).
Explosion des machines à vapeur, par M. Andraud.
Fourneaux fumivores. Historique et état actuel de la question, par M. Wolski.
Fabrication du gaz à la houille et du gaz à l'eau, par M. Faure.
Four à coke à compartiments fermés, par M. Tériot.
Introduction à l'histoire de la chimie, par M. Liebig.
Histoire et fabrication de la porcelaine chinoise, par M. Salvetat.
Mémoire sur la gélatine, par M. de Puymaurin.
Minium de fer.
Nouvelles manipulations chimiques, par M. Violette.
Nouvelle méthode pour reconnaître et pour déterminer le titre véritable et le valeur commerciale des potasses, des soudes, des acides et des manganèses, par M. le Dr W. Bichon.
Précis élémentaire de chimie, par M. Garnier.
Rapport sur les fabriques de produits chimiques en Belgique, remis par M. Mesdach.
Recherches sur la composition des matières employées dans la fabrication et la décoration de la porcelaine en Chine, par MM. Salvetat et Ebelmen.
Rapport sur les arts céramiques fait à la Commission française du jury international de l'Exposition de Londres, par MM. Ebelmen et Salvetat.
Rouges d'anilines (Mémoire sur les), par M. le docteur E. Jacquemin.
Rouges d'anilines, l'azaleine et la fuchsine (Mémoire sur les), par M. Maurice Engelhard.
Rouge d'aniline et la fuchsine (Examen comparatif sur le), par M. E. Kopp.
Silicatisation ou application des silicates alcalins solubles au durcissement des pierres poreuses, par M. Kuhlmann.
Traité de l'éclairage, par M. Péclet.
Traité élémentaire du calorique latent, par M. Julien.
Traité pratique de la fabrication et de la distribution du gaz d'éclairage et de chauffage de M. Samuel Clegg. Traduit de l'anglais par M. Servier.

CONSTRUCTION et TRAVAUX PUBLICS.

NAVIGATION VOIRIE.

Alimentation des eaux de Paris, par M. Edmond Roy.
Appareil de plongeur, le scaphandre, de M. Cabirol.
Application de la tôle à la construction des ponts du chemin de fer de ceinture, par M. Brame.
Arches de pont envisagées au point de vue de la plus grande stabilité, par M. Yvon-Villarceau.
Asphalte, son origine, sa préparation et ses applications, par M. Malo.
Assainissement de Paris, par M. Beaudemoulin.
Bétons agglomérés, par M. François Coignet.
Bétons moulés et comprimés, par M. François Coignet.
Chemins de hâlage et berges des canaux d'Angleterre et d'Ecosse, par M. E. Vuigner.
Construction des tunnels de Saint-Cloud et de Montretout (Notice), par M. Tony Fontenay.
Construction des viaducs, ponts-aqueducs, ponts et ponceaux en maçonnerie, par M. Tony Fontenay.
Chemins vicinaux, par M. E. Volland.
Canal du Berri (Rapport sur le), par M. Petiet.
Canal de Suez. Question du tracé, par MM. Alexis et Emile Berrault.
Canalisation des fleuves et rivières, par M. Henri Filleau de Saint-Hilaire.
Cathédrale de Bayeux, reprise en sous-œuvre de la tour centrale, par MM. de Dion et Lasvignes.
Chute des ponts (De la), par M. Minard.
Construction du Palais de l'Industrie, par MM. A. Barrault et Bridel.
Construction de la toiture d'un atelier, par M. Prisse.
Constructions économiques et hygièniques, par M. Lagout.
Construction des ponts et viaducs en maçonnerie, par M. Edmond Roy.
Construction des formules de transport pour l'exécution des terrassements par M. Dinan.
Cours de construction, par Demanet.
Description des appareils employés dans les phares, par M. Luccio del Valle.
Docks à Marseille (Projet), par M. Flachat.
Docks-Entrepôts de la Villette par M. Vuigner.
Digues monolithes en béton aggloméré, par M. François Coignet.
Eaux de Seine de Saint-Cloud amenées directement au château, par M. Armengaud aîné.
Egouts. Construction sous le rapport de la salubrité publique, par M. Versluys.
Embellissement de la ville de Bordeaux, par M. Léon Malo.
Emploi de la tôle, du fer forgé et de la fonte dans les ponts, par M. Cadiat.
Emploi de l'air comprimé au fonçage des piles et culées du pont de Kehl sur le Rhin par M. Maréchal.

Etudes sur les isthmes de Suez et de Panama, par M. F.-N. Mellet.
Examen de quelques questions de travaux publics, par M. Henri Fournel.
Habitations ouvrières et agricoles, par M. Emile Muller.
Inondations souterraines, par M. Vuigner.
L'Opéra et le Théâtre de la Seine, par M. Barthélemy.
Mémoire de la Chambre de commerce de Lorient, par M. Jullien.
Mémoire sur la force des matériaux, par M. Hodgkinson.
Matériaux de construction de l'Exposition universelle, par M. Delesse.
Moyen de réduire le nombre des naufrages le long des côtes.
Nivellements (Notice sur les), par M. Bourdaloue.
Nivellement (Notice sur le), par M. Petiet.
Notice sur la brouette, par M. Andraud.
Notice sur les eaux de Paris, par M. Ch. Laurent.
Notice sur les travaux et les dépenses du chemin de fer de l'Ouest, exécutés par l'État, par M. A. Martin.
Passerelles sur les grandes voies publiques de la ville de Paris M. Hérard.
Pavage et macadamisage (Rapport sur le), par M. Darcy.
Percement de l'isthme de Suez, par M. Ferdinand de Lesseps.
Percement de l'isthme de Panama par le canal de Nicaragua (Exposé de la question, par MM. Félix Belly et Thomé de Gamond).
Percement de l'isthme de Suez, par M. Frédéric Coninck.
Ponts avec poutres tubulaires en tôle (Notice sur les), par M. L. Yvert.
Ponts suspendus, ponts en pierre, en bois, en métal, etc., par M. Boudsot.
Ponts biais en fonte de Villeneuve-Saint-Georges, par M. Jules Poirée.
Ponts métalliques (Traité théorique et pratique de la construction des), par MM. Molinos et Pronnier.
Ponts suspendus avec câbles en rubans de fer laminé, par MM. Flachat et Petiet.
Pont du Rhin à Kehl, par M. Vuigner.
Rapport sur les portes en fonte de fer établies au canal Saint-Denis, par M. Vuigner.
Rapport sur les ponts suspendus, sur la force et la meilleure forme des poutres de fer fondu; par M. Hodgkinson.
Rapport sur le pont de Cubzac, par M. Gayrard.
Rapport sur l'emploi, à la mer et sur terre, des bétons agglomérés à base de chaux, par M. François Coignet.
Recueil de machines à draguer et appareils élévatoires, par M. Castor.
Tables de coéfficients, par M Lefrançois.
Théorie pratique, et architecture de ponts, par M. Brunell.
Traité sur l'art de faire de bons mortiers, par M. Rancourt.
Travaux hydrauliques de la France et de l'étranger, par M. Boocchieri.
Travaux hydrauliques maritimes, par MM. Latour et Gassend.
Tunnel sous-marin entre l'Angleterre et la France (avant projet d'un), par M. Thomé de Gamond.

DIVERS

et

OUVRAGES DÉPAREILLÉS.

Annuaire du consommateur d'acier, par M. Duhamel.
Appareil le Plongeur le Scaphandre de M. Cabirol.
Appareils photographiques, par M. Charles Brooke.
Aide-mémoire des ingénieurs, par M. Richard.
Bibliographie des ingénieurs et des architectes.
Bibliothèque scientifique industrielle (De la nécessité de créer une) par M. Mathias.
Calcul des arcs métalliques, par M. Albaret.
Catalogue des collections du Conservatoire des Arts et Métiers.
Code de l'acheteur, du vendeur et du conducteur de machines à vapeur, par M. Ortolan.
Composition de l'appareil spécial de certains échinodermes et sur le genre protophite, par M. Ebray.
Conquête de l'Afrique par les Arabes, par M. Henri Fournel.
Conservation des grains par l'ensilage, par M. Doyere.
Construction et emploi du microscope, par M. Charles Chevalier.
Cosmographie (Précis élémentaire), par M. Vallier.
Cours de mathématiques à l'usage des candidats à l'École centrale des arts et manufactures, par M. de Comberousse.
Cours complet de topographie et de géodésie, par M. Benoit.
De la tourbe, étude sur les combustibles employés dans l'industrie, par Challeton.
Des voies navigables en Belgique, par M. l'inspecteur Vifquain.
Dictionnaire technologique français, anglais et allemand, par M. Gardissal.
Docks à Bordeaux, par M. Maldant.
Documents sur les eaux de Paris.
Du cheval en France, par M. Charles de Boigne.
Ecoles d'arts et métiers d'Angers (Notice), par M. Guettier.
Encyclopédie biographique sur M. Hodgkinson.
Etoiles doubles, par M. Yvon-Villarceau.
Etudes sur la navigation, par M. Bounican.
Etude sur le cadastre des terres, sur les hypothèques et l'enregistrement des actes publics et sur la péréquation de l'impôt foncier par MM. de Robernier, Porro Félix, et Porro Ignace.
Excursion en Angleterre et en Ecosse, par M. Burel.
Exploration du Sahara et du continent Africain par Gérard.
Exposition universelle. Une dernière annexe.

Fondation d'un collége international à Paris, à Rome, à Munich et à Oxford, par M. Eugène Rendu.
Formulaire de l'ingénieur, par M. Armengaud jeune.
Formules nouvelles pour calculer l'épaisseur de la culée dans les voutes plein-cintre, anse de panier, et arc de cercles, par M. Marguet.
Géométrie descriptive (Eléments), par M. Babinet.
Guide du photographe, par M. Charles Chevalier
Guide-manuel de l'inventeur et du fabricant, par M. Armengaud jeune.
L'art du briquetier, par M. Challeton.
La Russie et ses chemins de fer, par M. Emile Barrault.
L'Ingénieur de poche, par MM. J. Armengaud et E. Barrault.
Les chemins de fer aujourd'hui et dans cent ans, par M. Audiganne.
Lettre adressée à la Chambre de commerce, par M. Calla.
Ligne de télégraphe, par M. Vérard.
Manuel calculateur du poids des métaux, par Van Alphen.
Manuel du conducteur et de l'agent-voyer, par M. Vauthier.
Manuel aide-mémoire du constructeur de travaux publics et de machines, par M. Emile With.
Marques de fabriques. Guide pratique du fabricant et du commerçant, par M. E. Barrault;
Matières textiles, par M. Alcan.
Méthodes photographiques, par M. Chevalier.
Note sur les fraudes dans la vente du sel, par M. Daguin.
Notice sur J. P. J. d'Arct.
Notice sur Philippe de Girard, par M. Benjamin Rampal.
Notice sur Saint-Nazaire.
Notice sur le pont suspendu de Castelfranc, système Cadiat et Oudry.
Nouvelles inventions aux Expositions universelles, par M. Jobard.
Pierre asphaltique du Val-de-Travers, par M. Henri Fournel.
Portefeuille des principaux appareils, machines, instrumeuts, par M. Chaumont.
Projet d'un port de refuge dans la Seine, par M. Burel.
Première année au collége, par M. Gardissal.
Projet d'une ligne télégraphique continentale entre la France et les Etats-Unis, par l'Europe et l'Asie, par M. P. Jousselin.
Rapports sur le rouissage du lin, sur le drainage, sur l'exploitation de la tourbe et sur la fabrication des engrais artificiels et commerciaux, par M. Payen.
Rapport de M. Alcan sur la peigneuse mécanique de M. Josué Helmann.
Rapport du Jury international de 1855.
Rapport sur l'Exposition universelle de 1855, relatif aux exposants de la Seine-Inférieure, par M. Burel.
Recherches sur la détermination du prix de revient, par M. Teisserenc.
Registre des chevaux pur sang.
Règle à calcul (Notice sur l'emploi de la), par M. P. Guiraudet.

Revue provinciale, remis par M. Gayrard.
Suppression du canal Saint-Martin et de l'établissement des entrepôts libres, par M. Marie.
Sahara oriental au point de vue de l'établissement des puits artésiens dans l'Oued-Souf, l'Oued-Rit et les Zibans, par M. Ch. Laurent.
Simplon, Saint-Gothard et Lukmanier, par M. Barman, ancien membre plénipotentiaire, colonel fédéral.
Table donnant en mètres cubes les volumes des terrassements dans les déblais et les remblais des chemins de fer, canaux et routes, par M. Hugues.
Table de Pythagore de 1 à 1,000,000, par M. Griveau.
Taux légal de l'intérêt, par M. Félix Tourneux.
Thèse pour la licence, par M. Deville.
Technologiste (Journal).
Traversée des montagnes avec l'air comprimé dans les tunnels métalliques, par M. Berrens.
Travaux de la Commission française sur l'industrie des Nations. (Exposition universelle de 1851).
Traité pratique de boulangerie, par Roland.
Un exemplaire de la collection d'organes de machines donnés au cours de M. Lecœuvre; 2° Deux années de vacances des élèves de deuxième et de troisième, par M. Robert.
Vade-Mecum administratif de l'entrepreneur des ponts et chaussées, par M. Endres.

MÉCANIQUE.

Appareils à vapeur employés aux travaux de navigation et de chemins de fer, par M. Castor.
Barrage hydropneumatique, par M. Girard.
Bâtiments à vapeur. Tenue du journal, par M. Petiet.
Calculs sur la sortie de vapeur dans les machines-locomotives, par M. Jeanneney.
Calculs sur l'avance du tiroir, les tuyaux d'échappement, les conduits de vapeur et de fumée, dans les machines-locomotives, par MM. E. Flachat et Petiet.
Chariots roulants sans fosse, par M. Sambuc.
Construction des boulons, harpons, écrous, clefs, rondelles, goupilles, clavettes, rivets et équerres; suivi de la Construction de la Vis d'Archimède; par M. Benoit Duportail.
Contre-poids (Des) appliqués aux roues motrices des machines-locomotives, par MM. Couches et Resal.
Distribution d'eau de 300 pouces pour la ville de Toulouse (Projet), par M. J. Guibal.

Emploi de la houille dans les locomotives et sur les machines à foyer fumivore du système Tinbrinck, par M. Couche.
Eléments théoriques et pratiques de la filature du lin et du chanvre, par M. Choimet.
Equilibre des voûtes. Examen historique et critique des principales théories, par M. Poncelet.
Engrenage à coin, par M. Minotto.
Etudes sur la résistance des poutres en fonte, par M. Guettier.
Expériences des piliers en fonte, par M. Hodgkinson.
Force motrice produite par la dilatation de l'air et des gaz permanents, par M. Montravel.
Foyer fumivore, par M. de Fontenay.
Foyer fumivore de M. Tenbrinck.
Graissage à l'huile appliqué aux véhicules des chemins de fer, par M. Dormoy.
Guide du chauffeur et du propriétaire de machines à vapeur, par MM. Grouvelle et Jaunez.
Locomotive de montagne, par M. Beugniot.
Loi mathématique de l'écoulement et de la détente de la vapeur, par M. Carvallo.
Machines à vapeur fixes ou locomobiles (Recueil de), de M. Cumming.
Machines à disques, par M. Rennie.
Machine de Marly, par M. Charles Prièz.
Machines à vapeur (Traité élémentaire et pratique), par M. Jules Gaudry.
Machine avec générateur à combustion comprimée (de M. Pascal) (Rapport sur la), par M. Colladon.
Machine à vapeur rotative du système Chevret et Seyvon.
Manége Pinet (Rapport sur le), par M. Pinet.
Mécanique pratique. Leçon par M. A. Morin.
Moteur des convois de chemins de fer dans les grands tunnels (Notice sur le), par M. Nickles.
Navigation fluviale par la vapeur, par MM. Ferdinand Mathias et Callon.
Notice sur un navire à hélice (*Le Chaptal*, construit par M. Cavé), par M. Jules Gaudry.
Notice historique sur l'emploi de l'air comprimé, par M. Gaugain
Notice sur l'injecteur automoteur de M. Giffard, par M. Bougère.
Nouveau système de générateur, par M. Georges Scott's.
Prescriptions administratives réglant l'emploi des métaux dans les appareils et constructions intéressant la sécurité publique, par M. Love.
Propulsion atmosphérique, par M. Petiet.
Rapport des experts dans l'affaire Guebhard et Schneider, par MM. Faure, Boutmy et Flachat.
Rapport sur la peigneuse mécanique de M. Josué Heilman, par M. Alcan.
Rapport sur le moteur-pompe de M. Girard, par M. Callon.
Rapport sur les machines et outils employés dans les manufactures (Exposition universelle de Londres 1851), par M. le général Poncelet.

Rapport de la Commission chargée d'examiner les divers projets présentés à la Société des charbonnages de Saint-Vaast pour le percement des sables mouvants de son puits de Bonne-Espérance, de M. Th. Guibal.

Recherches expérimentales sur la forme des piliers de fer fondu et autres matériaux, par M. Hodgkinson.

Résistance de la fonte de fer par la compression, par M. Damourette.

Résistance de la fonte, du fer et de l'acier, et de l'emploi de ces métaux dans les constructions, par M, Love.

Ressorts en acier (Manuel pratique pour l'étude et le calcul des), par M. Phillips.

Ressorts en acier (Mémoire sur les), par M. Phillips.

Scie à recéper sous l'eau (Notice sur la construction d'une), par M. Ganneron.

Steam Boiler; Explosions.

Sur la loi de résistance des conduites intérieures à fumée dans les chaudières à vapeur, par M. Love.

Tachéométrie (Guide pratique de), par M. Joseph Porro.

Tachéomètre (Notice sur un), par M. Deniel.

Théorie de la coulisse, par M. Phillips.

Théorie de la résistance et de la flexion plane des solides, par M. Bélanger.

Traité théorique et pratique des machines à vapeur fixes, locomotives et maritimes, par M. Jullien.

Traité théorique et pratique des moteurs hydrauliques, par M. Armengaud aîné.

Turbines hydropneumatiques, par MM. Girard et Callon.

Transmission à grandes vitesses. Paliers graisseurs de M. de Coster, par M. Benoit-Duportail.

Théorie analytique du gyroscope de M. L. Foucault, par M. Yvon-Villarceau.

MINES ET MÉTALLURGIE.

Agglomération des charbons menus, par M. Gérondeau.

Alliages des métaux industriels (Recherches pratiques), par M. Guettier.

Aluminium dans la métallurgie (Importance de l').

Aperçu du travail des hauts-fourneaux dans quelques États de l'Amérique du sud, par M. Henri Fournel.

Avenir de l'exploitation des mines métaliques en France, par M. Petitgand.

Bassin houillier de Graissessac, par M. Mercier de Buessard.

Carbures de fer. En général, les fers impurs sont des dissolutions; par M. C.-E. Julien.

Canaux souterrains et houillières de Worsley, près Manchester (Mémoire sur les), par MM. H. Fournel et Dyèvre.

Concession de Grigues et la Taupe, par M. Henri Fournel.

Coulée de moules en coquilles sur l'application de l'électricité aux métaux en fusion et sur le tassement des métaux, par M. Guettier.
Dimensions et poids des fers spéciaux du commerce, par M. Camille Tronquoy.
Emploi de la tôle, du fer forgé et de la fonte dans les ponts, système Oudry et Cadiat.
Emploi pratique et raisonné, de la fonte de fer dans les constructions, par M. Guettier.
Exploitation des mines, de leur influence sur la colonisation de l'Algérie, par M. Alfred Pothier.
Exploitation et traitement des plombs dans le midi de l'Espagne.
Fabrication et prix de revient des rails (Mémoire sur la), par M. Curtel.
Fonderie (De la), telle qu'elle existe aujourd'hui en France, par M. Guettier
Fusées de sûreté (de MM. Chenu et Cie), par M. Le Chatelier.
Guide du sondeur, avec atlas, par M. Dégousée.
Houilles sèches et maigres du bassin de la Sambre inférieure.
Importance de l'aluminium dans la métallurgie, par M. Tissier.
Lampe de sûreté pour les mines de houille, par M. Prouteaux.
L'Art du maître de forges, par M. Pelouze.
Matériel des houillères en France et en Belgique, par M. Burat aîné.
Mémoire sur les principales variétés de houilles consommées sur le marché de Paris et du nord de la France, par M. de Marsilly.
Métallurgie pratique, par M. D.
Minéralogie usuelle, par M. Drapier.
Minerais d'étain exploités à La Villède, par M. Guettier.
Mines de houilles de l'Angleterre (Rapport sur les), par M. Th. Guibal.
Mines de la Grand-Combe (Rapport sur les).
Mines de Languin, par M. Henri Fournel.
Mines de Seyssel, par M. Henri Fournel.
Nouvelle méthode d'extraction de zinc, par M. Muller.
Notice théorique et pratique sur l'injecteur automoteur propre à l'alimentation des chaudières à vapeur et l'élévation de l'eau, par M. Giffard.
Richesse minérale de l'Algérie, par M. Henri Fournel.
Situation de l'industrie houillière, par M. A. Burat.
Sondage à la corde (Notice), par M. Le Chatelier.
Sondage à la corde (Notice), par M. Ch. Laurent.
Sondes d'exploration (Description et manœuvre des), par M. Ch Laurent.
Traité de la fabrication de la fonte et du fer, par MM. Flachat, Petiet et Alexis Barrault.
Traité théorique et pratique de la métallurgie du fer, par M. Jullien.
Traitement des minerais de cuivre (Sur un nouveau procédé de), par M. Petitgand.

OUVRAGES PÉRIODIQUES.

Album encyclopédique des chemins de fer, par MM. Boise et Thieffry.
Album pratique d'ornements, par M. Oppermann.
Annales des ponts et chaussées.
Annales des mines.
Annales de la construction, par M. Oppermann.
Annales télégraphiques.
Annales des conducteurs des ponts et chaussées.
Annales forestières.
Annuaires de la Société des anciens élèves des Écoles impériales d'arts et métiers.
Bâtiments de chemins de fer, par Chabat.
Bulletins de la Société d'encouragement.
Bulletins de la Société des Ingénieurs civils de Londres, années 1847 à 1851.
Bulletins de l'institution *of Mechanical Engineers*.
Bulletins de la Société industrielle de Mulhouse.
Bulletins de la classe d'industrie et de commerce de la Société des arts de Genève.
Bulletins de la Presse scientifique des deux Mondes.
Bulletins de la Société industrielle d'Amiens.
Bulletins de la Société vaudoise.
Bulletins des Ingénieurs suédois.
Bulletins de la Société minérale de Saint-Etienne.
Bulletin des séances de la Société impériale et centrale d'agriculture.
Comptes rendus des séances du cercle de la Presse scientifique.
Gazette des Bâtiments, par M. Morel.
Génie industriel, par MM. Armengaud.
Journal l'Ingénieur.
Journal des Mines,
Journal le Crédit minier.
Journal l'Invention, par MM. Gardissal et Desnos.
Mémoires de la Société d'agriculture de l'Aube.
Moniteur des Travaux publics.
Portefeuille John Cockerill.
Portefeuille économique des Machines, par M. Oppermann.
Portefeuille de l'ingénieur des chemins de fer, par MM. Perdonnet et Polonceau,
Revue d'architecture, par M. César Daly.
Revue industrielle des mines et de la métallurgie.
Revue municipale.
Revue périodique de la Société des Ingénieurs autrichiens.
The Engineer (Journal).

STATISTIQUE ET LÉGISLATION

Administration de la France, ou Essai sur les abus de la centralisation, par M. Béchard.

Almanach et Annuaire des bâtiments (1842).

Brevets d'invention (Observations sur le nouveau projet de loi), par M. Normand.

Brevets d'invention, dessins et marques de fabrique (Etudes sur les lois actuelles), par M. Damourette,

Brevets d'invention en France et à l'étranger (Note sur les), par M. Emile Barrault.

Brevets d'invention et les marques de fabrique (Précis des législations françaises et étrangères sur les), par MM. Gardissal et Desnos.

Bulletin de statistique des chemins de fer (septembre 1852).

Code des chemins de fer, par M. Cerclet.

Colonies agricoles (Etudes sur les), mendiants, jeunes détenus, orphelins et enfants trouvés (Hollande, Suisse, Belgique et France), par MM. de Lurieu et Romand.

Complément des voies de communications dans le centre de la France, par M. Stéphane Mony.

Comptes rendus des opérations des chemins de fer de l'Etat belge pendant les années 1840, 1842 et 1844 à 1861.

Consultation sur le projet de la loi de police de roulage.

Crédit foncier et agricole dans les divers Etats de l'Europe, par M. Josseau.

Crédit foncier en Allemagne et en Belgique, par M. Royer.

Communications postales entre la France et l'Angleterre.

Caisse de retraite et de secours pour les ouvriers (chemins de fer belges).

Comptes rendus des travaux du Comité de l'Union des constructeurs.

Différence de consommation de la fonte blanche et de la fonte grise, par M. Henri Fournel.

Documents sur le commerce extérieur (douanes) (incomplets).

Documents statistiques sur les chemins de fer, par M. le comte Dubois.

Douanes. Tableaux général des mouvements du cabotage en 1847, et du commerce de la France avec ses colonies et les puissances étrangères.

Essai sur la réforme de l'éducation et de l'instruction publique, par M. Gardissal.

Études sur les voies de communication, par M. Teisserence.

Étude sur le Cadastre des terres, sur les Hypothèques et l'Enregistrement des actes publics et sur la Péréquation de l'impôt Foncier. — Projet de loi sur un dépôt général de la foi publique, par MM. de Roberniers, Ignace et Félix Porro.

Exposition de Londres de 1851. Compte rendu, par M. E. Lorentz.

Instructions pratiques à l'usage des Ingénieurs, par M. Armengaud aîné.

Loi des Etats-Unis sur les Inventions, par M. Emile Barrault.

Mesures anglaises et mesures françaises, par M. Camille Tronquoy.
Moyens financiers (Précis sur les chemins de fer de la France), par M. Cronier.
Organisation de l'industrie. Projet de Société des papeteries en France, par MM. Ch. Callon et Laurens.
Organisation pour l'Ecole Polytechnique et pour les ponts et chaussées, par M. Vallée.
Organisation légale des cours d'eau, par M. Dumont.
Organisation de la propriété intellectuelle, par M. Jobart.
Observation sur l'organisation de l'administration des travaux publics, par la Société des Ingénieurs civils.
Observation sur le recrutement du corps des ponts et chaussées, par la Société des Ingénieurs civils.
Patent Office (Rapport 1854).
Procès-verbaux des conseils généraux de l'agriculture et du commerce.
Projet de loi sur la police du roulage, par M. Bineau.
Projet de loi sur les brevets.
Rachat des chemins de fer par l'Etat, par M. Poujard'hieu.
Rapport du jury central sur les produits de l'industrie française.
Rapport sur les patentes des Etats-Unis, par le major Poussin.
Rapport adressé à M. le ministre des travaux publics en Belgique, et les chemins de fer en Belgique, par M. Teisserenc.
Rapport sur la loi organique de l'enseignement.
Statistique de la France, par M. le Ministre du commerce.
Statistique des chemins de fer de l'Allemagne, par M. Hauchecorne.
Statistique minéralogique et métallurgique, par M. Henri Fournel.
Tableaux sur les question d'intérêts et d'assurances, par M. Eugène Péreire.
Tables logarithmiques pour le calcul de l'intérêt composé des annuités et des amortissements, par M. Eugène Péreire.
Traité de la perception des droits de navigation et de péage, par M. Granger.
Tarif du canal du Rhône au Rhin, par M. Petiet.
Transports et correspondances entre la France et l'Angleterre, par M. Petiet,
Rapport sur l'inondation souterraine qui s'est produite dans les quartiers nord de Paris, par MM. Delesse, Beaulieu et Yvert.